

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ  
МОНИТОРИНГА, СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАСЫ В  
БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ**

**Шворов Сергей Андреевич, д.т.н., профессор**

**Пасичник Наталия Анатольевна, к.с.-х.н., доцент**

**Цигулев Иван Тихонович, к.т.н., доцент**

**Давыденко Тарас Сергеевич, аспирант**

**Юхименко Анна Святославовна, аспирант**

**Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины**

Shvorov Sergey, Doctor of Technical Sciences, [sosdok@nubip.edu.ua](mailto:sosdok@nubip.edu.ua)

Pasichnyk Nataliya, PhD, [N.Pasichnyk@nubip.edu.ua](mailto:N.Pasichnyk@nubip.edu.ua)

Tsigulev Ivan Tikhonovich, PhD, [cygulev@ukr.net](mailto:cygulev@ukr.net)

Davydenko Taras, student of PhD, [davidenkotaras009@gmail.com](mailto:davidenkotaras009@gmail.com)

Yukhimenko Anna, student of PhD, [1234anna1234@ukr.net](mailto:1234anna1234@ukr.net)

National University of life and Environmental sciences of Ukraine

*В статье рассматриваются методологические вопросы и подход к построению и организации функционирования интеллектуальной системы управления процессами мониторинга, сбора и переработки биомассы в биогазовых установках.*

**Ключевые слова:** биомасса, биогазовые установки, биометан, интеллектуальная система управления.

**Актуальность.** В связи с постоянным ростом стоимости природного газа, истощением его запасов и ухудшением экологической ситуации в мире наблюдается повышенный интерес к альтернативным источникам энергии. Одним из таких источников является биогаз – топливный газ, полученный в результате анаэробной ферментации органического сырья. Данный процесс осуществляется в специальных резервуарах – метантенках биогазовых установок (БГУ). В качестве сырья, как правило, используются отходы животноводства и птицеводства. Для повышения производства биогаза на западе применяют в БГУ растительную биомассу. Полная автоматизация всех процессов мониторинга и сбора биомассы для биогазовых установок с применением космических аппаратов (КА), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и беспилотных комбайнов (БК) входит в стратегию развития современных агропромышленных и машиностроительных компаний мира. Это дает возможность на удаленном доступе мониторить состояние и объемы биомассы, управлять дронами, беспилотными комбайнами при выполнении широкого круга работ, связанных с поиском (нахождением), сбором, загрузкой, перевозкой и переработкой биомассы для биогазовых установок.

Биогаз в основном состоит из метана и углекислого газа. После отделения углекислого газа и других примесей полученный биометан может вводиться в газотранспортную систему. Для эффективного управления процессом производства биометана нужно обладать большим объемом разнообразной информации о структуре площадей с растительной биомассой и прогнозируемых затратах на перевозку, хранение и переработку биомассы в БГУ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время для оценки объемов урожая широко используются КА и БПЛА [1]. В данной работе приведена оценка эффективности применения алгоритмов SIFT, SURF для формирования изображений сельскохозяйственных угодий.

В работе [2] показано, что БПЛА, оснащенный коммерческой камерой (видимый спектр), эффективно можно использовать для получения изображений с высоким разрешением пшеничного поля в начале сезона. Получаемые изображения с использованием недорогих камер на борту БПЛА являются подходящим инструментом, позволяющим различать растительность на полях в начале сезона. К известным методам навигации БК можно отнести: методы семейства BUG [3], которые используют для получения навигационной информации тактильные датчики, а также методы семейства VisBUG [4] с обработкой навигационной информации от ультразвуковых датчиков. Однако, в существующих работах недостаточно полно рассмотрены вопросы разработки си-

стемы управления БК на основе информации, полученной от КА и БПЛА об объемах биомассы на каждом участке поля с целью расчета необходимой скорости движения БК и с учетом основных факторов, влияющих на процесс сбора урожая. При этом для повышения эффективности планирования и сбора биомассы возникает проблема комплексного применения навигационной аппаратуры БК с информационными каналами КА и БПЛА, а также проблема подготовки и хранения биомассы для БГУ.

**Цель работы** состоит в обосновании функциональной структуры интеллектуальной системы управления (ИСУ) процессами мониторинга, сбора и преобразования биомассы в биометан и удобрения.

**Материалы и методы исследования.** С помощью предложенной системы решаются следующие задачи: мониторинг биомассы на основе применения БПЛА и КА (этап 1), планирование уборочных работ и синтез маршрутов движения беспилотных комбайнов (этап 2), управление режимами переработки биомассы в биогазовых комплексах (этап 3).

Основой интеллектуальной системы управления является база знаний, так как все алгоритмы функционирования системы основываются на ее знаниях. Назначением базы знаний является хранение совокупности единиц знаний, представляющих собой формализованное отображение объектов (технических средств), их взаимосвязей и действий над ними, а также знаний о процессе решения задач с помощью ИСУ.

Продукционные правила ИСУ являются основой для осуществления контроля и управления процессами мониторинга, уборочно-транспортных работ и режимами работы БГУ. Кроме того, эти правила позволяют формировать управленческие решения по перепланировке работ или обучению системы при возникновении нештатных ситуаций на БПЛА, БК, а также в работе БГУ.

Для решения перечисленных задач ИСУ должна включать программно-аппаратные средства мониторинга, планирования и оперативного управления процессами, позволяющие отрабатывать проекты сбора биомассы, обосновывать решения по распределению технических средств (комбайнов и другой техники) на полях.

В зависимости от данных об объемах биомассы, получаемых с КА и БПЛА, наличия технических средств и прогнозируемых условий  $u^p \in U$  уборочной кампании, генерируется множество вариантов  $\{V\}$  выполнения уборочно-транспортных работ, подготовки биомассы для БГУ и получения биогаза. Среди существующего множества таких вариантов определяется рациональный вариант  $v^p \in V$ , который обеспечивает получение агрофирмой максимальной прибыли ( $P$ ) от переработки собранной биомассы в биометан и удобрения:

$$P(v^p) = W - \tilde{N} \rightarrow \max \text{ при } u^p \in U, \quad (1)$$

где  $W$  – соответственно прогнозируемый доход от реализации биометана и удобрений,  $C$  – затраты на мониторинг, пеллетирование, перевозку биомассы и переработку биомассы в биометан и удобрения. Для определения ожидаемой прибыли следует знать значение ожидаемого дохода и затрат, которые можно рассчитать только при условии наличия исходных данных – объемов собранной биомассы, затрат на сбор, перевозку и переработку биомассы, а также рыночной стоимости биометана. Ожидаемый объем биомассы определяется как сумма прогнозируемых объемов собранной биомассы на отдельных участках поля.

Предложенная ИСУ позволяет на основе мониторинга объемов биомассы решать основные задачи управления уборочной кампанией, подготовки и переработки биомассы в биогаз в условиях неопределенности и изменчивости многих факторов. Эффективное функционирование ИСУ в значительной степени зависит от временных задержек, при которых сигналы мониторинга и управления доходят до получателя. В сетях 5-го поколения эти задержки будут составлять около 1 миллисекунды, что меньше, чем в сетях 2-го поколения в 500 раз, и значительно улучшает использование приложений IoT (Internet of Things - Интернет вещей). Применение IoT приложений с технологией 5G повышает эффективность мониторинга биомассы, управления БПЛА, беспилотной уборочной и транспортной техникой, а также режимами работы БГУ. Во-первых, множество мас-совых приложений IoT предусматривают высокую емкость сети и оперативное подключение приложений для обеспечения возможности подключения необходимого количества устройств – бес-

проводных сенсорных сетей. Во-вторых, программам приложений IoT предъявляются высокие требования к надежности, доступности и чрезвычайно низкой задержки соединения.

Как показывает практика [5] неоптимальное планирование и управление полевыми работами приводит к наложению маршрутов движения уборочной техники, задержкам в ее работе и, как следствие, чрезмерным расходам горючего. Практическое применение элементов указанной ИСУ в агрофирмах, а также в «Агрономической опытной станции» НУБиП Украины позволило снизить длину маршрутов движения уборочной техники и общие затраты на проведение уборочной кампании на 12-15% за счет оперативного определения объемов биомассы, планирования уборочных работ и реализации компромиссно-оптимальных маршрутов движения уборочной техники. Исходя из этого прибыль предприятий при применении элементов указанной ИСУ увеличилась более чем на 12%. Кроме того, как показывают результаты практического применения ИСУ, значительно сокращаются временные затраты на принятие обоснованных решений за счет обработки системой больших объемов информации.

Целью практических исследований в «Агрономической опытной станции» НУБиП Украины являлась проверка работоспособности алгоритмов ИСУ по определению урожайности пшеницы с использованием программно-аппаратных средств John Deere 9670STS и сенсорного оборудования Slantrange 3p, закрепленного на промышленной платформе БПЛА DJI Matrice 600 Pro. С помощью программного обеспечения Slantview осуществлялась обработка снимков поля с биомассой для прогнозирования объемов соломы пшеницы.

При выборе спектральных каналов использовались зависимости, которые обеспечили достаточную чувствительность и высокое разрешение. Лучшие показатели были получены в инфракрасном канале, так как он имеет наибольшее значение коэффициента детерминации (0,774) и углового коэффициента, отвечающего за чувствительность и разрешающую способность.

Таким образом, интеллектуальная система управления, в функциональную структуру которой вошли алгоритмы, основанные на классических методах оптимизации и моделирования систем, а также методах искусственного интеллекта, обеспечивает эффективное решение задач планирования, контроля и оперативного управления процессами мониторинга, сбора, подготовки и преобразования биомассы в биометан. Практическое применение элементов указанной ИСУ позволило увеличить прибыль агрофирм (предприятий) более чем на 12% и сократить временные затраты на принятие обоснованных решений.

#### Список использованных источников

1. Saleem, S. Towards feature points based image matching between satellite imagery and aerial photographs of agriculture land / S. Saleem, A. Bais // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2016. – № 126. – P. 12–20.
2. Torres-Sanchez, J. An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops / J. Torres-Sanchez, F. Lopez-Granados, J.M. Pena // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2015. – № 114, – P. 43–52.
3. Lumelsky, V. Sensing, intelligence motion / V. Lumelsky. – V.: Wiley-Interscience, 2006. – 456 p.
4. Siegwart, R. Introduction to Autonomous Mobile Robots / R. Siegwart. – N.: Press, 2004. – 336 p.
5. Mezhujev, V. A method for planning the routes of harvesting equipment using unmanned aerial vehicles / V. Mezhujev, Y. Gunchenko, S. Shvorov, D. Chyrchenko // *Intelligent Automation and Soft Computing*. – 2020. – № 26 (1). – P. 121-132.