УДК 631.372 621.879

ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАНИОННОГО РАЗВИТИЯ ТОРФЯНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Зюзин Б.Ф. – доктор технических наук,
заведующий кафедрой технологических машин и оборудования
Жигульская А.И. – кандидат технических наук,
доцент кафедры технологических машин и оборудования
Гамаюнов С.Н. – доктор технических наук,
профессор кафедры технологических машин и оборудования
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
Россия, г. Тверь

Торф вновь оказывается в центре внимания – не как пережиток прошлого, а как локальный ресурс, востребованный в условиях разрушенных логистических цепочек. Однако техника, на которую теперь рассчитывают, осталась в прошлом веке. Большинство торфяных машин, включая фрезерные, до сих пор работают на основе решений, разработанных в 1970–1980-х годах. Главное их ограничение – полное отсутствие обратной связи: машина не реагирует ни на изменение свойств разрабатываемой горной породы – торфа, ни на состояние собственных узлов. Советские торфяные машины и комплексы [1] проектировались исходя из принципа «максимальной надежности при минимальной автоматике», что сегодня оборачивается жесткостью управления и высоким износом.

Модернизация, сводящаяся к замене деталей, уже не отвечает вызовам времени. Она должна изменить саму природу взаимодействия машины с торфяным пластом – превратить пассивный агрегат в активного участника технологического процесса. Цифровые технологии здесь – не теория, а инструмент, встроенный в саму ткань машины: ее конструкцию, управление, логику работы.

Цифровой двойник – не витрина, а инструмент проектировщика. Его задача – предсказать поведение машины на грунте с малой несущей способностью [2]. Виртуальный прототип позволяет заранее выявить зоны риска: где возникнет провал, где – перегрузка трансмиссии, где – неоправданный расход энергии. Это особенно ценно, поскольку натурные испытания на торфяных месторождениях рискованны и зачастую невозможны в требуемых масштабах. Для реализации цифрового двойника критически важна стандартизация сбора данных на уровне промышленных протоколов. Как показано в работе [3], использование MQTT в рамках архитектуры IIoT обеспечивает совместимость с системами анализа больших данных и позволяет передавать не только усредненные, но и полные потоки информации от датчиков, что необходимо для выявления скрытых зависимостей в поведении техники.

Настоящий прорыв возможен лишь тогда, когда машина начнет «чувствовать» торф, а не просто воздействовать на него. Датчики влажности, плотномеры, тензометрические элементы на рабочих органах формируют поток данных, на основе которого микроконтроллер принимает решения в реальном времени. Это актуально при работе на пнистых залежах, где резкое изменение сопротивления резанию требует немедленной коррекции режимов [4]. Наличие древесных включений вызывает ударные перегрузки, превышающие расчетные значения в несколько раза, что приводит к поломкам валов и редукторов на машинах без системы динамической защиты. При росте сопротивления система автоматически снижает глубину фрезерования и повышает крутящий момент. Напротив, переход на более мягкий слой позволяет мгновенно увеличить скорость подачи. Такая адаптивность стабилизирует качество продукции и бережет ресурс техники.

Учет фактора надежности на этапе проектирования позволяет снизить интенсивность отказов в эксплуатации. Применение методов блок-схем функциональной целостности при разработке торфяных машин позволяет заранее выявить критические узлы и заложить резервирование, что особенно важно в условиях отсутствия сервисной инфраструктуры на периферийных территориях [5].

Телеметрия стирает границу между машиной и системой: данные о ее состоянии становятся частью общего информационного потока. На основе этих данных строится предиктивная аналитика: система не просто фиксирует отказ, а оценивает вероятность его наступления. Такой подход позволяет планировать обслуживание, избегая внезапных простоев. Ключевым условием реализации является использование отечественных программных платформ, способных интегрироваться с существующими промышленными протоколами и обеспечивать автономную работу в условиях ограниченной связи [6].

Гибкость достигается иным способом – через модульность. Вместо трех отдельных машин – фрезерной, уборочной, транспортной – достаточно одной платформы со стандартизированными механическими и цифровыми интерфейсами. При подключении модуля машина автоматически идентифицирует его тип и загружает соответствующий профиль управления [7]. Это снижает капитальные затраты и упрощает логистику на участке. Такая архитектура особенно выгодна для малых и средних предприятий, не имеющих возможности содержать широкий парк специализированной техники.

Современные материалы и аддитивные технологии меняют саму логику ремонта. Армированные композиты в несиловых элементах снижают массу на 10–15 %, что напрямую уменьшает удельное давление на грунт – критически важный параметр для торфяных месторождений верхового типа [7]. А 3D-печать металлом позволяет на месте восстанавливать изношенные детали сложной формы – например, зубья фрез или корпуса подшипниковых узлов. Это сокращает время простоя с дней до часов.

Экология в этом контексте – не дань моде, а условие допуска к ресурсу. Современные требования предполагают, что после завершения добычи

территорию можно рекультивировать. Это значит: минимальная ширина колеи, отсутствие глубоких нарушений профиля, использование биоразлагаемых смазок. Современные экологические требования к горнодобывающему оборудованию выходят за рамки локальных норм. едущие мировые стандарты предписывают не только минимальное вмешательство в ландшафт, но и контроль выбросов в процессе эксплуатации, что стимулирует разработку гибридных и малотоксичных силовых установок даже для малогабаритной техники [8]. Машина должна оставлять за собой не шрам, а след, способный затянуться.

Практика внедрения на предприятиях Тверской области подтверждает положительный эффект: использование адаптивного управления и телеметрии повышает стабильность работы, снижает расход топлива и сокращает внеплановые простои.

Эффект цифровизации измеряется не числом датчиков, а тем, насколько они делают машину умнее в работе. Критерием ее успеха служит способность решать конкретные производственные проблемы: добывать сырье стабильнее, дешевле, бережнее. При этом важно учитывать и вопрос технологического суверенитета: развертывание цифровых решений должно опираться на отечественное программное обеспечение, способное адаптироваться к специфике торфодобычи и поддерживаться российскими специалистами [6]. Использование импортных CAD/CAE-систем и промышленных платформ создает риски технологической зависимости, особенно в условиях ограничений на поставки лицензий и обновлений. Переход на отечественные аналоги – не идеологический выбор, а практическая необходимость устойчивого функционирования отрасли.

Модернизация торфяных машин – вызов не столько технический, сколько системный. Он требует переосмысления не только конструкции, но и самой логики эксплуатации, обслуживания, взаимодействия с ландшафтом. И только в этом синтезе рождается подлинная инновация.

Список литературы:

1. Солопов С. Г., Горцакалян Л. О., Самсонов Л. Н., Цветков В. И. Торфяные машины и комплексы: учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1981. 416 с.

2. Зюзин Б. Ф., Жигульская А. И. Технологические машины и оборудование для разработки торфяных месторождений: оптимальные параметры и режимы работы фрезерующих устройств: монография. Тверь: Издатель Кондратьев А. Н., 2023. 175 с.

3. Захаров В. Н., Клебанов Д. А., Макеев М. А., Радченко Д. Н. Анализ методов подготовки и преобразования информации, поступающей в хранилища данных для эффективного управления горнотехнической системой // Горная промышленность. 2023. № 5S. С. 10–17. DOI:10.30686/1609-9192-2023-5S-10-17.

4. Гамаюнов С.Н., Копенкина Л.В. Исследования и разработки в области фрезерования торфяной залежи вместе с пнями // Труды Инсторфа. 2025. Т. 31, № 84. С. 50–54.

5. Горлов И. В. Анализ надежности торфяных машин в процессе проектирования // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 4 (8). С. 32–38. DOI:10.46573/2658-5030-2020-4-32-38.

6. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Цифровая трансформация и технологическая независимость горнодобывающей отрасли // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 74–78. DOI:10.30686/1609-9192-2022-5-74-78.

7. Михайлов А. В., Зюзин Б. Ф., Жигульская А. И. Технологические машины и оборудование для разработки торфяных месторождений. Технологическое оборудование для переработки органогенного сырья: монография. Тверь., 2023. 191 с.

8. Хазин М. Л. Экологические стандарты стран мира для горных машин и оборудования // Недропользование. 2020. Т. 20, № 3. С. 291–300. DOI:10.15593/2712-8008/2020.3.9.