

УДК 617.3:615.477

Еднач В.Н., кандидат технических наук, доцент;
Романюк Н.Н., кандидат технических наук, доцент;

Пырх А.С.; Еднач А.В.

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКЗОСКИЛЕТОВ В АПК

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы классификации, разработки и применения экзоскелетов в сельскохозяйственном производстве, что позволит снизить нагрузку на работников АПК и увеличить производительность труда.*

Введение

Современное сельское хозяйство требует применения новейших технологий, которые способны существенно увеличить механизацию труда, а главное замену труда рабочих в погрузочно-разгрузочных работах. Те решения которые в недавнем прошлом казались фантастикой, сейчас находят применение в производстве. К ним можно отнести экзоскелеты и устройства повторяющие биомеханику человека для снятия части нагрузок и пропорционального увеличения усилий.

Целью исследований является обзор и анализ исследований конструкций экзоскелетов, применяемых в АПК для повышения производительности труда.

Основная часть

В настоящее время экзоскелеты используют не только в сфере промышленного производства, но и в сельском хозяйстве. Применение данных устройств в сельскохозяйственном производстве республики позволит значительно снизить мышечную активность работников, а также утомляемость, травмируемость и повысит производительность труда.

В результате исследований, проведенных канадскими и швейцарскими учеными было установлено, что использование экзоскелета позволяет снизить мышечную нагрузку на спину во время сельскохозяйственных работ до 65 %, 56 % и 48 % при статиче-

ской, средней и максимальной мышечной активности соответственно [1]. Это указывает на потенциальные преимущества использования экзоскелета, чтобы помочь работникам, занятым в АПК снизить мышечную нагрузку. Кроме того, использование экзоскелета увеличивает мышечную активность на работах, связанных с повторяющимися движениями.

Анализируя конструкции экзоскелетов, которые возможно применить в условиях сельскохозяйственного производства Республики Беларусь, рассмотрим существующие классификации. Классификация экзоскелетов по признакам: тип исполнительного механизма, наличие привода усиления сочленений, анатомическое расположение усиленных сочленений, наличие встроенного источника энергии, вид используемого силового привода, способ получения управляющего сигнала, тип силовой установки и источника энергии, область практического применения [2].

Известна классификация, предложенная профессором Воробьевым А.А. [3], в основу которой положены следующие принципы: источник энергии и принцип работы привода; точка приложения (локализации); стоимость; область применения; вес конструкции; количество функций; мобильность.

Представленные классификации дают общее представление о потенциалах использования экзоскелетов в сельскохозяйственном производстве. Рассмотрим более подробно некоторые модели экзоскелетов.

Компания «Exorise» работает над использованием в конструкции экзоскелета эластомеров, принцип действия которых основан на свойствах эластомеров и рессор накапливать и отдавать энергию. Разработанной экзоскелет пассивного типа и не требует дополнительных источников энергии. Эффект достигается благодаря перераспределению мышечных усилий по телу оператора при наклонах и поворотах с грузом и без него. Конструкция значительно снижает компрессионное воздействие на позвоночник оператора во время выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Исследования, проведенные Exorise показали то, что промышленный экзоскелет X-Soft снижает нагрузку на спину оператора от 12 до 37 % [4].

Активный промышленный экзоскелет, разработанный по заказу ПАО ГМК Норильский Никель на его предприятиях «ExoHeaver Active Electric» – широко используемый при подъеме и удержании

грузов и инструментов, поддержания тела при необходимости длительного нахождения в наклонном положении или с согнутыми ногами. Экзоскелет оснащается гравитационными компенсаторами или электроприводами, принимающими на себя до 90 % нагрузки [5]. Компанией EchoHeaver также разработан и пассивный экзоскелет 3 Hander, отличительной особенностью конструкции которого является наличие механического модуля, используемого для крепления и удержания инструмента. Принцип действия экзоскелета основан на компенсации изгибающих моментов в суставах и передаче нагрузки с оператора на механический силовой каркас. В ходе выполнения технологических операций, нагрузка распределяется по силовому каркасу, что обеспечивает защиту поясничного отдела позвоночника от чрезмерного скручивания и смещения дисков. Конструкцией также предусмотрены специальные упоры, действующие подобно сиденью и снимающие нагрузку с ног оператора.

Японская фирма Innophus совместно с Токийским научным университетом, спроектировала пассивный экзоскелет имеющий ряд модификаций, который позволяет увеличить подъемную силу оператора на 5,5 кг, при этом продолжительность удерживания груза до 30 кг [6]. К конструктивным особенностям экзоскелета можно отнести шарнирное соединение верхней и нижней рам, позволяющих выполнять поворот вперед и назад (рисунок 1). Рамы соединены системой эластичных элементов и шкивов позволяющих перераспределять усилия и снижать нагрузку на суставы и позвоночник оператора. Innophus производит как пассивные (рисунок 1, а), так и активные экзоскелеты (рисунок 1, б). Рабочим элементом активного экзоскелета является пневматическая система, имеющая эластичные элементы «McKibben» (рисунок 1, в), которые представляют собой резиновую трубку, покрытую нейлоновой сеткой, зафиксированной от перемещения по трубке зажимами с обоих концов. Трубка в сетке работает по принципу изменения длины при изменении поперечного сечения в результате накачивания воздуха (рисунок 1, в). При работе изменение длины трубки может достигать 30 % и создавать усилие растяжения до 200 кг при давлении воздуха 5 атмосфер [6].



Рисунок 1 – Экзоскелет компании Innophy

Выводы

Проведенное теоретическое исследование использования пассивных экзоскелетов, применяемых в АПК, указывает на потенциальные преимущества их использования, позволяющие повысить производительность труда, снизить утомляемость работников, а также же необходимость разработки подобных механизмов для применения на отечественных предприятиях.

Список использованных источников

1. Thamsuwan O, Milosavljevic S, Srinivasan D, Trask C. Potential exoskeleton uses for reducing low back muscular activity during farm tasks. *Am J Ind Med.* 2020 Nov;63(11):1017–1028. doi: 10.1002/ajim.23180. Epub 2020 Sep 14. PMID: 32926450.

2. Верейкин А.А., Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, кафедра "Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика" <http://www.str-t.ru/reports/18/> Дата доступа 28.09.2022, 16:17.

3. Воробьев А.А., Терминология и классификация экзоскелетов. А.А. Воробьев, Ф.А. Андриющенко, О.А. Засыпкина, И.О. Соловьева, П.С. Кривоножжина, А.М. Поздняков // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2015. – №3 (55). – С. 71–78.

4. Экзоскелет X-Soft. <https://exorise.com/en/products-and-services/x-soft/> Дата доступа 28.09.2022, 18:20.

5. Российские экзоскелеты ExoHeaver. <https://top3dshop.ru/blog/Russian-exoskeletons-exoheaver-review.html> Дата доступа 28.09.2022, 17:02.

6. INNOPHYS CO.,LTD. All Rights Reserved
<https://innophys.jp/en/product>. Дата доступа 28.09.2022, 20:14.

Abstract. The article discusses the classification, development and application of exoskeletons in agricultural production, which will reduce the burden on workers and increase labor productivity.

УДК 337.32:54

Мисун А.Л.; Данцевич И.И.; Ильных Н.А.

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» НА УБОРКЕ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

Аннотация. *В статье рассмотрены направления по повышению безопасности труда системы «человек-машина».*

Как любые факторы производственной обстановки, так и любые целесообразные действия персонала в трудовом процессе становятся опасными для работника только в определенной взаимосвязи в рамках опасной производственной ситуации. Функционирование уборочно-транспортного процесса кормоуборки с позиции теории вероятностей можно рассматривать как последовательность наступающих поочередно одно за другим в случайные моменты времени таких событий (технологических операций) как скашивание растительной массы, ее измельчение с одновременной погрузкой в транспортное средство и отвозкой массы к месту хранения, то есть как поток событий и отказов, возникаемых в процессе выполнения технологических операций в течении рабочего дня по причинам «оператора», «комбайна», производственной «среды», «транспорта».

Рассматривая этот поток событий как «простейший», необходимо отметить следующее. Свойство стационарности для этого потока событий с определенной долей приближения можно