

непосредственно в рабочих цилиндрах двигателя в конце рабочего хода и сжигания промежуточных горючих компонентов несгоревшего топлива, в том числе и мельчайших частиц сажи, а также увеличения внутренней энергии сжатого продувочного воздуха за счет охлаждения наиболее нагретаемых деталей камеры сгорания и перепускных каналов, и трансформации тепловой энергии нового рабочего тела в механическую работу и крутящий момент на валу двигателя при обратном ходе поршней расширительных цилиндров к нижней мертвой точке.

Предлагаемый комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания имеет высокий коэффициент теплоиспользования и практически не имеет вредных выбросов. Высокая экономичность и экологическая безопасность позволит в будущем использовать его в составе силовых установок автотракторной техники, электрогенераторов и другой экономичной, экологически безопасной мобильной техники, эксплуатируемой с переменной нагрузкой. Изложенный в этой статье материал может служить основой для теоретических исследований малотоксичного рабочего процесса, а также обеспечить основу для дальнейших разработок по повышению экономичности и снижению вредных выбросов в двигателях внутреннего сгорания.

#### **Список использованных источников**

1. Компаундный двигатель внутреннего сгорания: заявка DE 3121301 A1, МПК F02B 41/08. – 1983.
2. Двигатель внутреннего сгорания с утилизацией теплоты отработавших газов : пат. ЕАПО 036869 B1 / А. Н. Антоненко, А. А. Антоненко – Оpubл. 30.12.2020.
3. Способ работы двигателя внутреннего сгорания : патент ВУ 8639 C1, М F02B 41/02 / А. Н. Антоненко. – Оpubл. 30.12.2006.
4. Комбинированный компаундный двигатель внутреннего сгорания : заявка ВУ а 20210054 / А. Н. Антоненко. – Оpubл. 30.10.2022.
5. Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : «Колос», 1994. – С. 52–59.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022  
Received 19.10.2022

**Д. И. Комлач, А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь*

#### **ЛИНИЯ СОРТИРОВКИ И ФАСОВКИ ЯБЛОК ЛСП-4 И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЁ ИСПЫТАНИЙ**

*Аннотация.* В данной статье приведены результаты приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, проходивших в производственных условиях ОАО «Остромечево» Брестского района, и экономическая эффективность её применения.

*Ключевые слова:* Линия сортировки яблок, транспортер, лоток, система технического зрения, дефект плода, механические повреждения, испытания, комплекс уборки веток, валкователь веток, измельчитель веток, экономическая эффективность, агротехнические требования.

**D. I. Komlach, A. N. Yurin**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus*

#### **APPLE SORTING AND PACKAGING LINE LSP-4 AND THE RESULTS OF ITS TESTS**

*Abstract.* This article presents the results of acceptance tests of the technological line for sorting and packing apples LSP-4, which took place under the production conditions of OJSC Ostromechevo, Brest region, and the economic efficiency of its use.

*Keywords:* tests, branch harvesting complex, branch raker, branch shredder, economic efficiency, agrotechnical requirements.

## Введение

Потери плодов от уборки и до момента поступления к конечному потребителю составляют до 30 %, что вызывает потребность в их сортировании. В настоящее время процесс сортировки плодов – мало механизированный процесс, и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки этих плодов.

Сортировка плодов в соответствии с СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» имеет целью разделение плодов на фракции, относящиеся по характеристикам к высшему, первому и второму сорту, а также отделение нестандартных плодов.

В процессе сортировки учитываются размер плодов, их цвет, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

При ручном сортировании данную работу может качественно выполнить опытный специалист-сортировщик. Однако производительность работ при ручной сортировке на три товарных сорта составляет 40–70 кг/ч, плоды при этом подвергаются минимальному механическому травмированию [1].

В 2019 г. в общественном секторе республики произведено более 157,3 тыс. т яблок. Для осуществления их сортировки требуются трудозатраты в количестве 24,5 тыс. чел.-дн. [2]. Учитывая складывающийся дефицит рабочих в сельском хозяйстве, очевидно, что необходимо внедрение в производство средств механизации, облегчающих или полностью исключаящих ручной труд при сортировке плодов.

Существует и сортировка плодов по показателям качества поверхности с частичным применением механизмов и машин, которые осуществляют доставку продукции к рабочему и её отвоз после сортировки. Осмотр продукции, частичная манипуляция и принятие решения о качестве плодов осуществляется человеком. Производительность работника при такой сортировке составляет до 300 кг/ч [3].

Дальнейшее повышение производительности труда на сортировании возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Автоматизированная сортировка осуществляется сканирующим устройством без участия или с частичным участием человека. Оно производит фото- или видеосъемку плода, распознавание его, присвоение плоду соответствующего сорта и выдачу управляющего сигнала для рабочего органа, осуществляющего непосредственное выделение (извлечение) плода из общего потока.

Для этого используются системы технического зрения (СТЗ), однако известные технические средства с СТЗ позволяют качественно осуществлять сортировку плодов только по размеру и цвету. Сортировка же по наличию повреждений (вредителей, болезней и механического воздействия) не осуществляется, что снижает качество конечного продукта, а также требует дополнительного контроля качества выходной продукции операторами-сортировщиками.

Поэтому создание технического средства с СТЗ, позволяющего определить качество поверхности плода с учетом повреждений аналогично тому, как это делает человек [4–8], является важной агроинженерной задачей.

## Основная часть

На основе проведенных исследований по обоснованию параметров системы технического зрения для распознавания дефектов плодов в 2019 году была разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4.

Линия состоит из транспортера приемного 1, модуля разгрузочного 2, ролинга 3, лотка 4, опоры 5, ванны 6, горки 7, сушилки 8, водовода 9, опоры 10, линии сортировки 11, конвейеров 12 и 13, каретки 14, стола 15, системы технического зрения (СТЗ) 16 (рис. 1, 2).

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является система технического зрения (далее – СТЗ) (рис. 3), расположенная на основном конвейере 11 (рис. 2).

СТЗ представляет собой сложное техническое устройство, состоящее из двух основных корпусных элементов, задающих внешние габариты всего изделия (рис. 3):

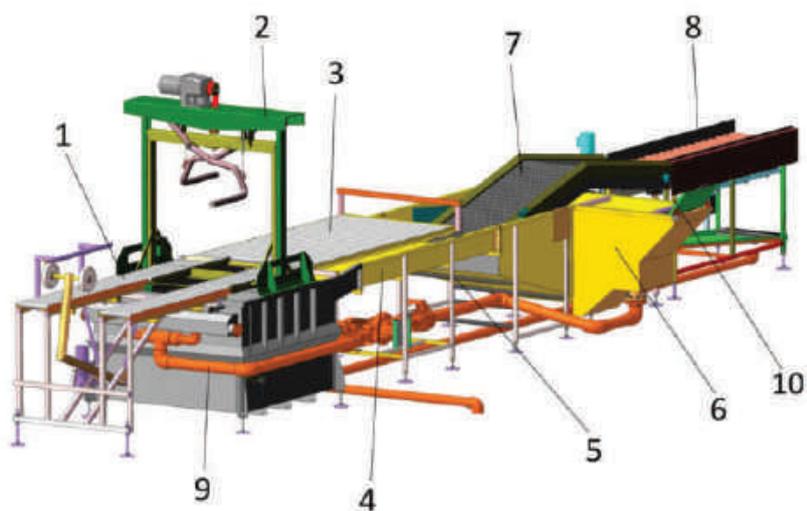


Рис 1. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (приемная часть): 1 – транспортер приемный, 2 – модуль разгрузочный, 3 – ролинг, 4 – лоток, 5 – опора, 6 – ванна, 7 – горка, 8 – сушка, 9 – водовод, 10 – опора

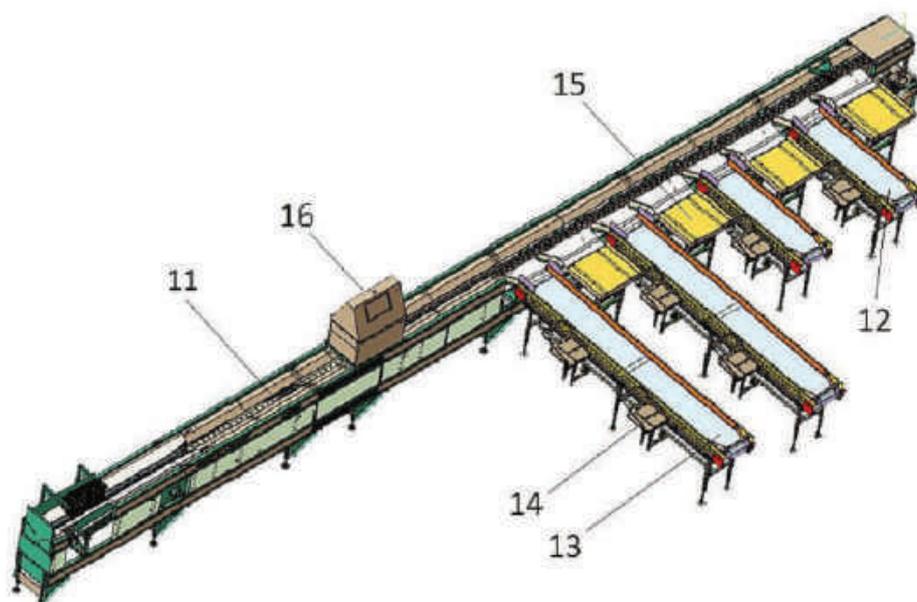


Рис. 2. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (сортирующая часть): 11 – основной конвейер, 12 и 13 – конвейер, 14 – каретка, 15 – стол, 16 – оптический сортировщик



Рис. 3. Система технического зрения СТЗ линии сортировки ЛСП-4

- механического защищённого корпуса видеокамерой и структурированной подсветкой;
- электрического шкафа управления с вычислительным модулем и сенсорным монитором.

В основу работы СТЗ положен принцип визуального анализа данных, согласно которому полученные с видеокамеры изображения движущихся по конвейеру плодов обрабатываются и формируются в образы с последующей их классификацией и выдачей соответствующего управляющего сигнала блоку управления, который активизирует исполнительное устройство в виде приводимого в движение электричеством рабочего органа, установленного на транспортёре. Далее исполнительное устройство воздействует на ложемент транспортера, в котором находится соответствующий плод, и подает его на поперечный (упаковочный) конвейер соответствующего сорта.

Технологический процесс сортировки осуществляется следующим образом.

Перед началом сортировки оператор линии включает электропитание линии и через графическую панель управления СТЗ заполняет паспортные данные сортируемых плодов, устанавливает параметры сортируемых плодов и задает конвейеры, которые будут принимать отсортированные плоды высшего, первого и второго сорта.

Далее оператор линии включает привод толкателя, который перемещает контейнер в модуль разгрузочный. Далее оператор включает лифтовое устройство модуля разгрузочного и притапливает контейнер с плодами в ванне с водой. Когда плоды всплывают на поверхность воды, оператор включает насос водовода, горку и сушку. Поток воды, поступающий из передней стенки модуля разгрузочного, транспортирует яблоки к горке и сушке, где они высушиваются при контакте с фетровыми барабанами машины.

После завершения подготовительных работ контейнер с плодами подается автопогрузчиком на транспортер приемный 1 (рис. 1) и устанавливается на роликовые направляющие.

Далее оператор включает привод линии сортировки, плоды поступают на линию сортировки, где попадают в индивидуальные каретки, закрепленные на приводной цепи. Проходя через СТЗ, плоды фотографируются. Далее изображение передается в вычислительный модуль СТЗ, где программное обеспечение классифицирует поступающие плоды согласно заданным параметрам.

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу исполнительному устройству управляющего сигнала сбрасывателям, осуществляющим опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

Рабочие за конвейерами принимают отсортированные плоды и укладывают их в коробки.

По мере сортировки плодов автопогрузчиком устанавливается новый контейнер с плодами на приемный транспортер. После освобождения контейнера от плодов оператор поднимает его лифтовым устройством модуля разгрузочного и, перемещая новый контейнер с плодами в модуль разгрузочный, сталкивает опорожнённый контейнер на ролинг, где с него стекает вода. Далее пустой контейнер снимается автопогрузчиком с ролинга и транспортируется на место их сушки и хранения.

Технические характеристики технологической линии приведены в табл. 1.

Линия обеспечивает сортировку яблок в зависимости от качества на три товарных сорта: высший, первый и второй в соответствии с агротехническими требованиями, указанными в табл. 2.

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» в Брестском районе, аг. Остромечево в 2020–2021 годах. По результатам приёмочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 получен протокол № 004-1/3-2022 от 25.02.2022 [8].

Анализ проведенных испытаний показал, что технологическая линия в целом соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 % (не менее 80 % по ТЗ). Некоторое снижение точности сортирования по отношению к техническому заданию объясняется наличием в сортируемых плодах большого количества яблок, имеющих значительные механические повреждения (более 20 % поверхности) и плоды с обширной, более ½ площади плода, гнилью, поступление которых запрещено ТЗ.

Таблица 1. Технические характеристики линии ЛСП-4

Наименование показателя	Значение
Масса линии, кг	8000
Габаритные размеры, мм:	
– длина	13400
– ширина	12600
– высота	3380
Количество отводящих конвейеров, шт.	4
Скорость движения сортировальных кареток, м/с	0,10–0,78
Производительность за час основного времени, т*	2,5, не более
Параметры, по которым осуществляется сортировка	размер, механические повреждения, повреждения от вредителей
Обслуживающий персонал, чел.	8
Вид сортируемой продукции	яблоки
Точность сортирования, %, не менее	80
Допустимое отклонение по наибольшему диаметру яблок, находящихся в одной и той же таре, не более	10 мм

\* Зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов.

Таблица 2. Агротехнические требования на сортировку плодов

Наименование показателя	Характеристика и требования для сорта		
	высшего	первого	второго
Наибольший размер плода, мм ***	70–65	65–60	60–55
Механические повреждения***:			
– «градобоина»	н/д	до 2 см <sup>2</sup>	2см <sup>2</sup> – ¼ поверхности
– «прокол», «порез», «нажим»	н/д	до 2 см <sup>2</sup>	2–4 см <sup>2</sup>
Повреждения вредителями***	н/д	до 2 см <sup>2</sup>	2–4 см <sup>2</sup>
Повреждения болезнями***:			
– «гниль»	н/д	н/д	н/д
– «сетка»	н/д	до ¼ поверхности	допускается
– «парша»	н/д	до 2 см <sup>2</sup>	2см <sup>2</sup> –¼ поверхности

Примечание: \*\*\* Размеры плодов, а также наличие повреждений для высшего, первого и второго сортов могут быть изменены по желанию потребителя.

При этом производительность линии за час основного времени составила 1,76–1,80 т/ч, а удельный расход электроэнергии – 2,59–2,8 кВт\*ч/т, что полностью соответствует требованиям технического задания.

Функциональные, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления линии приведены в табл. 3.

Таблица 3. Функциональные, эксплуатационно-технологические показатели и показатели энергопотребления технологической линии

Наименование показателя	Значение показателя		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
		фон 1	фон 2
Вид работы	Сортировка и фасовка яблок сферической формы	Сортировка и фасовка яблок сферической формы	
Место проведения испытаний	–	ОАО «Остремчево» Брестского района	
Дата проведения испытаний	–	06.10.2021	27.12.2021
Режим работы:			
Скорость движения главного транспортера, м/с	–	0,68	0,68
Функциональные показатели:			
Повреждение продукции линией после сортировки, %	10,0, не более	8,4	1,3

Наименование показателя	Значение показателя		
	по ТЗ	по результатам испытаний	
		фон 1	фон 2
Точность сортирования, %	80,0, не менее	56,0	73,1
Точность сортирования с допустимым отклонением по наибольшему диаметру, %	80,0, не менее	–	75,4
Эксплуатационно-технологические показатели:			
Производительность, т/ч:			
– за час основного времени	2,5, не более	1,76	1,80
– за час сменного времени	1,87, не более	1,20	1,21
– за час эксплуатационного времени	–	1,20	1,21
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:			
– технологического обслуживания	0,98, не менее	1,0	1,0
– надежности технологического процесса	0,98, не менее	1,0	1,0
– использования сменного времени	0,67, не менее	0,68	0,67
– использования эксплуатационного времени	0,62, не менее	0,68	0,67
Удельная масса, кг*ч/т	–	4545	4444
Показатели энергопотребления:			
Напряжение питающей сети, В	–	412/237	
Установленная мощность, кВт	18,00, не более	14,11	
Потребляемая мощность, кВт	–	4,66	
Удельный расход энергии, кВт*ч/т	5,0, не более	2,59	2,80

Расчет экономических показателей использования линии сортировки яблок ЛСП-4 производился в сравнении с импортным аналогом – линией сортировки яблок «Rollerstar CV-C3 1-7+1» фирмы «Aweta», Голландия.

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [9] с использованием нормативно-справочных материалов и действующих тарифных ставок оплаты труда механизаторов и стоимости топлива.

Исходные данные к расчету сравнительной экономической эффективности комплекса приведены в табл. 4, а показатели сравнительной экономической эффективности – в табл. 5.

В результате расчета сравнительных показателей экономической эффективности при работе линии установлено, что годовой приведенный экономический эффект от применения линии составляет 97 142,50 руб., а срок окупаемости – 4,59 года.

Таблица 4. Исходные данные к расчету экономической эффективности линии сортировки яблок ЛСП-4

Наименование показателя	Значение по машине	
	Разрабатываемый	
Вид операции	сортировка яблок	
Марка агрегата	Технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4	Линия сортировки яблок «Rollerstar CV-C3 1-7+1» («Aweta», Голландия)
Обслуживающий персонал, чел., по категориям:	8	8
– водитель погрузчика (количество/разряд)	1/IV	
– сортировщики-укладчики (количество/разряд)	6/IV	
– оператор (количество/разряд)	1/IV	
Производительность, т/ч		
– сменного времени	1,21	1,21
– эксплуатационного времени	1,21	1,21
Расход электроэнергии, кВт ч./т	2,8	2,8
Цена электроэнергии, руб./кВт ч.	0,45	0,45

Наименование показателя	Значение по машине	
	Разрабатываемый	Иностраный аналог
Балансовая цена (без НДС), руб.	250000,00	463500,00
Коэффициент отчислений на:		
– амортизацию	0,125	0,125
– текущий ремонт и периодическое техническое обслуживание	0,13	0,13
Годовая загрузка, ч	140	140
Годовая наработка, т	169,4	169,4
Затраты труда, чел. ч/т	6,61	6,61
Прямые эксплуатационные затраты (себестоимость), руб./т по элементам:		
– зарплата	25,7	25,7
– амортизация	184,47	342,02
– ремонт и техническое обслуживание	191,85	355,70
– электроэнергия	1,27	1,27
– всего	403,21	724,67
Удельные капитальные вложения, руб./т	295,16	547,23
Сумма приведенных затрат (с учетом экономического коэффициента эффективности E=0,2), руб./т	698,37	1271,90

Таблица 5. Показатели сравнительной экономической эффективности линии

Наименование показателя	Значение
Годовой приведенный экономический эффект, руб.	97142,50
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб.	54442,50
Степень снижения себестоимости механизированных работ, %	44,35
Срок окупаемости абсолютных (дополнительных) капитальных вложений, лет	4,59
Капитализированная стоимость новой техники, руб.	548900,00

Полученные результаты позволяют констатировать, что применение линии сортировки яблок ЛСП-4 для проведения технологической операции сортировки плодов выгодно для сельскохозяйственных производителей Беларуси.

На основании полученного протокола приемочных испытаний Приемочная комиссия Актом от 6 апреля 2022 г. № 22-01 установила, что опытный образец линии сортировки яблок ЛСП-4 соответствует требованиям технического задания, и рекомендовала к постановке на производство.

На основании решения комиссии были утверждены технические условия ТУ ВУ 100230575.518-2022 на линию сортировки яблок.

### Заключение

1. В результате проведения приемочных установлено, что линия сортировки яблок ЛСП-4 в целом соответствует требованиям технического задания и другой технической нормативной документации.

2. Годовой приведенный экономический эффект от применения линии составляет 97142,50 руб., а срок окупаемости капиталовложений – 4,59 года, что позволяет говорить о высокой эффективности линии.

### Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Черноград, 2004. – 19 с.

2. Рудник, Ю. А. Робототехническая система для сортирования яблок / Ю. А. Рудник, С. В. Журавлев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 32–34.

3. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе /Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – № 1 (38). – С. 133–141.

4. Ganganagowdar, N. V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques [Интеллектуальная система компьютерного зрения для проверки качества и сортировки плодов и овощей на основе мягких вычислений (нейронная сеть с обратной связью и вероятностная нейронная сеть). Индия] / N. V. Ganganagowdar, A. V. Gundad // Agr. Engineering Intern.: CIGR J. – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 171–178.

5. Lu, Y. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples [Разработка мультиспектральной системы визуализации отраженного изображения (SIRI) и ее применение для обнаружения повреждений яблок. (США)] / Y. Lu, R. Lu // Trans. of the ASABE. – 2017. – Vol. 60, N 4. – P. 1379–1389.

6. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А. С. Гордеев ; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.

7. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и технико-экон. исслед. по инженер.-техн. обеспечению агропром. комплекса ; подгот.: М. И. Куликов [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2012. – 164 с.

8. Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февр. 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». – п. Привольный, 2022. – 99 с.

9. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008 (02150). – Введ. 01.02.09 (взамен ОСТ 10.2.18 2001). – Минск: Минсельхозпрод, 2009. – 20 с.

УДК 001.2

Поступила в редакцию 07.10.2022

Received 07.10.2022

**Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, П. П. Бегун**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ТЕРМИНОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА БИОЛОГИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ**

*Аннотация.* Статья посвящена общим вопросам методологии (стратегии) передачи решений от биологии к инженерии для решения конкретных технических задач. В статье на основании знакомства с зарубежными работами, существующими стандартами и открытыми онлайн-ресурсами выполнен обзор терминологии бионики для правильного ее применения при решении задач инженерного проектирования, в том числе в области земледельческой механики.

*Ключевые слова:* проектирование, инженерия, биология, бионика, терминология, биоинспирация, биомимикрия, биологически вдохновленный дизайн.

**D. I. Komlach, V. V. Goldyban, P. P. Behun**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

## **THE BASIC TERMINOLOGY OF ENGINEERING DESIGN, BASED ON A BIOLOGICAL APPROACH**

*Abstract.* The article is devoted to general issues of methodology (strategy) of transferring solutions from biology to engineering to solve specific technical problems. In the article, based on acquaintance with foreign works, existing standards and open online resources, a review of the terminology of bionics for its correct application in solving engineering design problems, including in the field of agricultural mechanics, is carried out.

*Keywords:* design, engineering, biology, bionics, terminology, bio inspiration, biomimicry, biologically inspired design.