



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2025_1_25
MPHTI 55.57.01

Ж.А. Бекмырза

НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы»,
г. Костанай, Казахстан
E-mail: 5112431@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕНТОЧНОГО ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ РАБОТЫ С СИЛЬНО ЗАСОРЕННЫМИ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

ҚАТТЫ ЛАСТАНҒАН АСТЫҚ ДАҚЫЛДАРЫН ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ТАСПАЛЫ КОНВЕЙЕРДІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАРЫН ЗЕРТТЕУ

THE STUDY OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A BELT CONVEYOR FOR WORKING WITH HEAVY CONTAMINATED GRAIN CROPS

Аннотация. Актуальность тематики, заявленной в рамках данного научного исследования, заключается в существенной значимости ленточных транспортеров в технологических процессах обработки сельскохозяйственных культур и необходимости изучения их динамических характеристик, как важнейшего фактора безаварийного функционирования. Основной целью исследования является изучение принципов конструкции и движения ленточных транспортёров, которые используются в практике сельскохозяйственных предприятий для работ по сбору и транспортировке зерна. Основу методологического подхода в данной научной работе составляет теоретическое исследование общих принципов совершенствования конструктивно-режимных параметров ленточного транспортёра для работы с засоренными зерновыми культурами. Полученные результаты свидетельствуют о наличии прямой зависимости между параметрами производительности ленточного транспортёра, с одной стороны, и шириной транспортёрной ленты, скоростью её движения, а также плотностью перемещаемой зерновой массы, с другой стороны. Все полученные зависимости были представлены в виде математических выражений. Также были установлены основные типы ленточных транспортёров, которые применяются для работы с зерновыми культурами, представлена классификация подобного рода технических устройств. Рассмотрен перечень стандартизированных нормативных документов, регламентирующих технические условия применения ленточных транспортёров. Также были определены основные конструктивные и режимные характеристики ленточных транспортёров, которые используются для работы с сильно засоренными зерновыми культурами. Определены перспективы их совершенствования в целях оптимизации технологических операций по сбору и транспортировке зерновых культур на предприятиях сельскохозяйственного сектора Республики Казахстан.

Ключевые слова: сельское хозяйство, аграрный сектор, конвейер, промышленное оборудование, технологические устройства, технические условия.

Аңдатпа. Осы ғылыми зерттеу аясында жарияланған тақырыптың өзектілігі ауылшаруашылық дақылдарын өңдеудің технологиялық процестеріндегі таспалы тасымалдаушылардың маңыздылығында және апатсыз жұмыс істеудің маңызды факторы ретінде олардың динамикалық сипаттамаларын зерттеу қажеттілігінде жатыр. Бұл ғылыми зерттеудің негізгі мақсаты ауылшаруашылық кәсіпорындарының тәжірибесінде астық жинау және тасымалдау жұмыстары үшін қолданылатын таспалы тасымалдаушылардың дизайны мен қозғалысының принциптерін

зерттеу болып табылады. Бұл ғылыми жұмыстағы әдіснамалық тәсілдің негізі бітелген дәнді дақылдармен жұмыс істеу үшін таспалы тасымалдаушының құрылымдық-режимдік параметрлерін жетілдірудің жалпы принциптерін теориялық зерттеу болып табылады. Бұл ғылыми-зерттеу жұмысында бір жағынан таспалы тасымалдаудың өнімділік параметрлері мен тасымалдау таспаның ені, оның қозғалыс жылдамдығы, сондай-ақ екінші жағынан қозғалатын астық массасының тығыздығы арасында тікелей тәуелділіктің бар екендігін көрсететін нәтижелер алынды. Алынған барлық тәуелділіктер математикалық өрнектер түрінде ұсынылды. Сондай-ақ, дәнді дақылдармен жұмыс істеу үшін қолданылатын таспалы транспорттерлердің негізгі түрлері белгіленді, осындай техникалық құрылғылардың жіктелуі ұсынылды. Таспалы тасымалдаушыларды қолданудың техникалық шарттарын регламенттейтін стандартталған нормативтік құжаттардың тізбесі қаралды. Сондай-ақ, қатты бітелген дәнді дақылдармен жұмыс істеу үшін қолданылатын таспалы тасымалдаушылардың негізгі құрылымдық және режимдік сипаттамалары анықталды. Қазақстан Республикасының Ауыл шаруашылығы секторының кәсіпорындарында дәнді дақылдарды жинау және тасымалдау жөніндегі технологиялық операцияларды оңтайландыру мақсатында оларды жетілдіру перспективалары айқындалды.

Түйін сөздер: ауыл шаруашылығы, аграрлық сала, конвейер, өнеркәсіптік жабдықтар, технологиялық құрылғылар, техникалық шарттар.

Abstract. The relevance of the topic stated within the framework of this scientific research lies in the significant importance of belt conveyors in technological processes for processing agricultural crops and the need to study their dynamic characteristics as the most important factor in trouble-free operation. The main goal of this scientific research is to study the principles of design and movement of belt conveyors, which are used in the practice of agricultural enterprises for collecting and transporting grain. The basis of the methodological approach in this scientific work is a theoretical study of the general principles of improving the design and operating parameters of a belt conveyor for working with weeded grain crops. In this research work, results were obtained indicating the presence of a direct relationship between the performance parameters of the conveyor belt on the one hand, and the width of the conveyor belt, its speed, as well as the density of the transported grain mass on the other hand. All obtained dependencies were presented in the form of mathematical expressions. The main types of belt conveyors that are used to work with grain crops were also established, and a classification of this type of technical devices was presented. The list of standardized normative documents regulating the technical conditions for the use of belt conveyors is considered. The main design and operational characteristics of belt conveyors, which are used to work with heavily clogged grain crops, were also determined. The prospects for their improvement have been identified in order to optimize technological operations for the collection and transportation of grain crops at enterprises in the agricultural sector of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: agriculture, agricultural sector, conveyor, industrial equipment, technological devices, technical conditions.

Введение. Проблематика данного научного исследования заключается в существенном влиянии динамических характеристик ленточного транспортёра, который используется для работы с сильно засоренными зерновыми культурами, на его эффективность. Ленточный транспортёр выполняет функции транспортировки зерна, а также продуктов его переработки под углом до 5°. Подобные устройства могут быть выполнены как в открытом, так и в закрытом варианте, их эксплуатация осуществляется в помещениях и на открытых пространствах. Применение ленточных транспортёров для перемещения зерна предполагает возможность его доставки на расстояние до 10-12 километров и более, при этом подобные агрегаты представляют собой набор отдельных секций. Динамические характеристики ленточных транспортёров определяют их производительность, которая заключается в способности перемещать заданный объём зерна в единицу времени. В данном контексте совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного транспортёра для работы с сильно засоренными зерновыми культурами имеет принципиальное значение с точки зрения перспектив улучшения его динамических характеристик и повышения производительности. Повышение производительности ленточных транспортёров чрезвычайно важно для сельскохозяйственных предприятий Республики Казахстан, деятельность которых непосредственно связана с выращиванием зерновых культур, их транспортировкой, хранением и переработкой.

Литературный обзор. Е.Ю. Шаяхметов в научном исследовании особенностей конструктивного и технологического обеспечения ленточных конвейеров, функционирование которых происходит в сложных условиях, обращает внимание на тот факт, что ленточный конвейер достаточно широко применяется в сельском хозяйстве при необходимости перемещения зерновых культур. По мнению учёного, динамические характеристики ленточных транспортёров имеют существенное значение с точки зрения их производительности, поскольку влекут за собой экономические потери. Этим обуславливаются требования к их составным элементам: роликам (опорным и прямым), конвейерной ленте, приводу и конструктивным элементам (Шаяхметов, 2017).

Научно-исследовательский коллектив в составе Т.О. Чигамбаева, С.А. Юсуповой и Д.Е. Бижанова рассмотрел ряд проблемных аспектов применения ленточных транспортёров в различных промышленных отраслях для перемещения сыпучих грузов. По мнению учёных, повышение скорости ленты транспортёра, увеличение её ширины и изменение угла наклона боковых роликов до значения 45° в совокупности способствуют значительному повышению производительности транспортёра (Chigambaev, Yusupova, Bizhanov, 2021). Таким образом, отмечается непосредственная зависимость производительности агрегата от его динамических характеристик.

В свою очередь А. Турдалиев и А. Ильясова рассмотрели в совместной научной работе вопросы влияния изменения динамических характеристик транспортёрной ленты на производительность транспортёра в контексте изменений в её поперечном движении. Авторы отмечают, что свободное поперечное движение ленты транспортёра при усложнении эксплуатационных условий, связанных с необходимостью перемещения засоренных зерновых культур, приводит к ухудшению динамических характеристик агрегата и может стать причиной его преждевременного выхода из строя. По мнению учёных, выход может быть найден в разработке математической модели изменений динамики движения транспортёрной ленты, внедрение которой будет способствовать совершенствованию конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера (Турдалиев, Ильясова, 2021).

В. Ву с соавторами провели научное исследование методов повышения урожайности и качества хранения зерна, в котором затронули вопросы использования ленточных транспортёров. По мнению учёных, совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами, имеет существенное значение с точки зрения обеспечения необходимых условий для перемещения и складирования зерна (Wu and others, 2022).

С. Салембир с соавторами провели совместное научное исследование общих принципов проектирования оборудования для предприятий аграрного сектора экономики. Отмечено, что инновации в сельскохозяйственной технике в последнее время получили широкое распространение. По мнению ученых, инновационные разработки в сфере транспортировки и хранения зерновых культур должны включать в себя меры по совершенствованию динамических характеристик ленточных транспортеров для работы с сильно засоренными зерновыми культурами, что позволит увеличить их производительность и повысить качество транспортировки зерна (Salembier and others, 2020).

Основной целью данного научного исследования является изучение динамических свойств ленточных транспортёров, которые в настоящий момент широко применяются в сельском хозяйстве Казахстана для работы с зерновыми культурами.

Материалы и методы исследования. Данная научно-исследовательская работа предполагает проведение теоретического исследования основных принципов построения конструкции и организации движения ленточного транспортёра в разрезе изучения перспектив их совершенствования. Теоретическую базу работы составляют результаты

анализа ряда исследований в области разработки и внедрения в практику предприятий аграрного сектора экономики ленточных транспортёров, предназначенных для работы с зерновыми культурами. Научное исследование было проведено на базе НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы».

Применение теоретического исследования ключевых принципов функционирования ленточного транспортёра в контексте перспектив усовершенствования его конструктивных и динамических характеристик позволило определить основные задачи применения ленточных транспортёров в сельском хозяйстве и составить классификацию данного рода технологических устройств. Теоретическое исследование также позволило установить основные типы ленточных транспортёров, используемых в аграрном секторе Казахстана для работы с зерновыми культурами, и ключевые динамические характеристики, имеющие принципиальное значение с точки зрения эффективности их функционирования.

В качестве материалов научного исследования были использованы актуальные в Республике Казахстан отраслевые стандарты, определяющие перечень нормативов при использовании ленточных транспортёров для работы с зерновыми культурами. В частности, согласно требованиям ГОСТ 22647-77 была получена формула для определения допустимого момента начала вращения ролика и барабана:

$$M = \theta_m \frac{D}{2}. \quad (1)$$

Кроме того, согласно требованиям стандарта ГОСТ EN 620-2012 была представлена конструктивная схема размещения составных элементов ленточного транспортёра. Использование пособия по проектированию конвейерного транспорта (ленточные транспортёры) СНиП 2.05.07-85 позволило получить выражение для определения длины транспортёрной ленты, учитывающее ряд ключевых конструктивных параметров ленточного транспортёра:

$$L_s = \sum L_n + \sum l_n + \left(\frac{\pi}{360}\right) (\sum \alpha_n D_n + 2 \sum \varphi_n R_n), \quad (2)$$

и выражение для расчёта производительности:

$$Q = KB^2 \rho v. \quad (3)$$

Использование указанных материалов позволило получить выражение, определяющее зависимость скорости движения ленточного транспортёра от производительности, угла наклона ленты и плотности перемещаемого на транспортёре засоренного зерна:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{\rho v t g \varphi}}. \quad (4)$$

Для объективной оценки уровня обеспечения отсутствия проскальзывания ленты транспортёра по барабану было использовано неравенство Эйлера и получено выражение

$$F_n \leq F_0 e^{f \alpha}. \quad (5)$$

На основании приведенных выше формул было получено выражение для определения производительности ленточного зернового транспортёра, которое представлено в виде соответствующего равенства. На основании значения производительности ленточного конвейера был определён параметр натяжения ленты зернового транспортёра:

$$F_{л} = CF_0. \quad (6)$$

На основании данных, представленных в выражении (6), было получено равенство, отображающее величину тягового усилия ленты зернового транспортёра:

$$F_T = \sum W = F_{л} - F_0, \quad (7)$$

которое послужило основанием для получения выражения величины тягового усилия, передаваемого от приводящего вала непосредственно к ленте транспортёра при установленных параметрах угла обхвата α и затухающего натяжения F_0 :

$$F_{Tv} = F_0(e^{f\alpha} - 1). \quad (8)$$

Из данного равенства, в свою очередь, было получено выражение для расчёта величины натяжения ленты зернового транспортёра во время работы по перемещению зерна:

$$F_{л} = F_0 \frac{e^{f\alpha}}{K_3}. \quad (9)$$

Результаты и их обсуждения. Современные разработчики ленточных транспортёров в Республике Казахстан и в других странах при создании данных агрегатов руководствуются принятыми государственными стандартами. В противном случае, инстанции, ответственные за контроль, не выпустят данное технологическое оборудование на рынок. К основным нормативным документам, регламентирующим конструктивно-режимные параметры ленточных транспортёров и актуальным на сегодняшний день на территории Республики Казахстан, относятся: ГОСТ EN 620-2012, ГОСТ 22647-77, пособие по проектированию конвейерного транспорта (ленточные транспортёры) СНиП 2.05.07-85. Научно-исследовательская работа была выполнена на базе Костанайского регионального университета имени А. Байтурсынова.

Межгосударственный стандарт ГОСТ EN 620-2012 полностью идентичен европейскому стандарту EN 620:2002+A1:2010 и определяет комплекс требований к оборудованию и системам непрерывной погрузки сыпучих материалов. Согласно положениям данного нормативного документа, ленточный транспортёр определяется как устройство, включающее в себя резиновую или полимерную транспортёрную ленту с набором конструктивных элементов. Движение ленты осуществляется за счёт запуска приводного барабана на одном конце и прохождения данной ленты через свободно вращающийся барабан на другом конце. Для поддержки внешней поверхности ленты применяются ролики свободного вращения, опорные ролики или специальные настилы. Угол наклона ленточного транспортёра определяется типом ленты и консистенцией транспортируемого материала (в данном исследуемом случае – зерновой культуры) (GOST EN 620-2012, 2012).

Ленточный транспортёр для зерна предназначен для решения следующих задач:

- транспортировка зерновых культур;
- переработка отходов промышленного производства зерна;
- формирование системы транспортной логистики компании-производителя зерновых культур.

Использование ленточных транспортёров даёт возможность значительно повысить скорость обработки зерновых культур, что обеспечивает рост финансовых показателей предприятия – зернового производителя (Belt conveyor for grain: purpose, types, advantages, 2022).

На рис. 1 представлена классификация ленточных транспортёров, которые используются для работы с зерновыми культурами. Общий вид ленточного зернового

транспортёра представлен на рис. 2.

В табл. 1 представлены технические характеристики ряда моделей ленточных транспортёров, которые на сегодняшний день используются в сельскохозяйственном секторе Республики Казахстан.

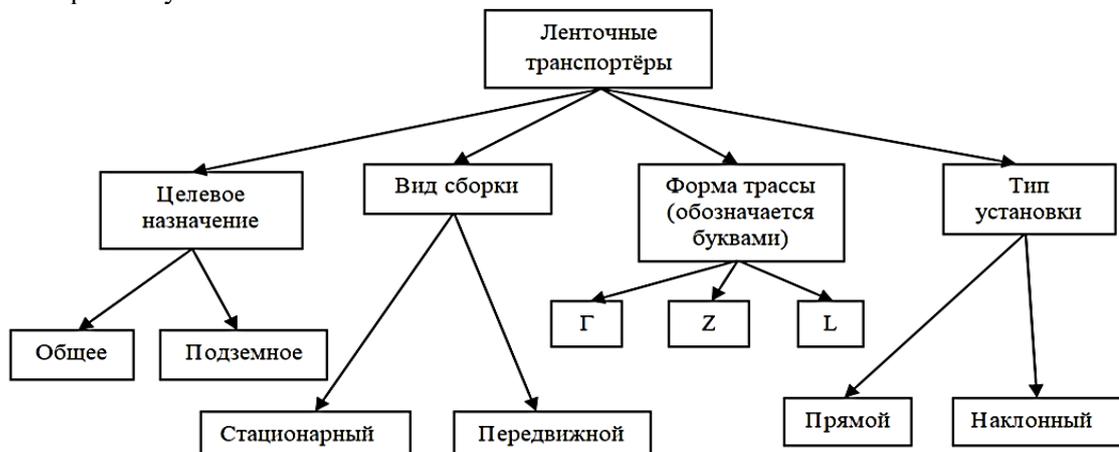


Рисунок 1. Классификация ленточных транспортёров

Примечание – составлено автором



Рисунок 2. Ленточный зерновой транспортёр

Примечание – составлено автором на основе (Belt conveyors, 2023)

Таблица 1. Технические характеристики моделей ленточных транспортёров

Модель	Производительность (тонн/час)	Скорость движения ленты (м/с)	Ширина ленточного полотна (мм)
DMI OVC 400	60	1,8	400
DMI OVC 500	120	1,8	500
DMI OVC 600	240	1,8	600
DMI OVC 800	370	1,8	800
DMI OVC 1000	470	1,8	1000
DMI OVC 1200	580	1,8	1200

Примечание – составлено автором на основе (Belt conveyors, 2023)

Ленточные транспортёры используются для перемещения зерна на расстояния 10-12

километров и более. Приводная станция конвейера включает в себя электродвигатель, барабан, редуктор, а также систему соединительных муфт. Для загрузки зерна на ленту транспортёра применяется воронка, разгрузка производится через концевой барабан либо барабанный (плунжерный) сбрасыватель. Передвижные ленточные транспортёры применяются для работ по погрузке-разгрузке зерна, в целях повышения мобильности монтируются на колесном ходу.

Среди основных характеристик ленточных транспортёров, которые используются на элеваторах для работы с зерновыми культурами на территории Республики Казахстан, следует отметить:

1. Рабочий процесс транспортёра базируется на системе приводов. Они размещены в барабанах, по которым движется лента. Приводные барабаны являются ключевым оборудованием ленточного зернового транспортёра. Барабаны могут иметь одну или две консоли вала, предназначенные для контакта с приводами. Консоли размещаются симметрично по отношению к оси ленточного транспортёра, который соединяет пару механизмов приводов. Барабаны с двумя консолями на ленточном транспортёре предназначены для дублированных приводных механизмов. При этом в работе пребывает один привод, а другой является запасным и используется для подстраховки.

2. Выпуклые участки ленточного транспортёра содержат не приводные барабаны вместо роликовых нижних опор. Они применяются в качестве отклоняющих барабанов в хвостовой и головной частях ленточного зернового транспортёра.

3. На ленточных транспортёрах применяется оцинкованный короб, одна секция которого может иметь длину до трёх метров. В основании ленточного транспортёра размещены втулки, выполненные из антистатических материалов.

4. Лента транспортёра имеет повышенную износостойчивость. В том случае, если конструкция ленточного транспортёра предусматривает наличие вспомогательных бортов, допускается установка желобных или прямых роликовых опор.

Закрытые ленточные транспортёры используются для перемещения гранулированных зерновых культур на необходимое расстояние. Транспортировка производится на ленте при помощи роликов, при этом в целях предупреждения заносов ведущий ролик покрывается резиной. Конструктивно предусмотрены смотровые отверстия, которые также служат для очистки гранулированного зерна при необходимости и обслуживания ленты.

Общий вид закрытого ленточного зернового транспортёра представлен на рис. 3.

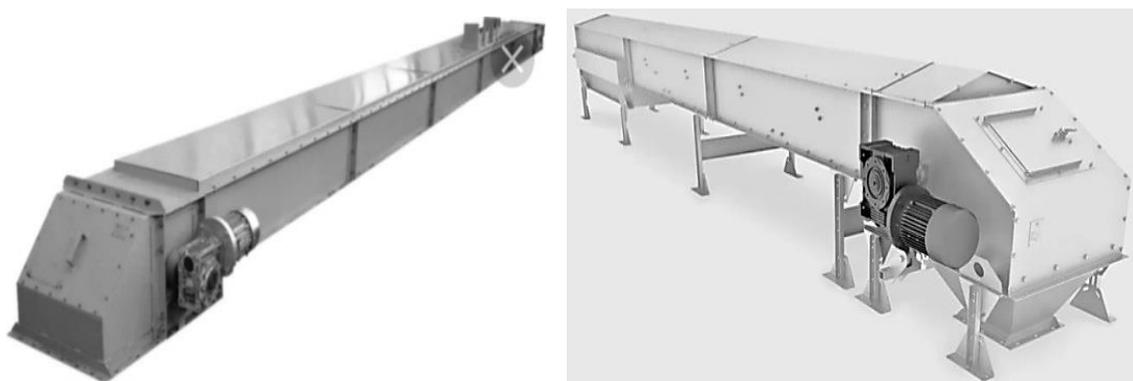


Рисунок 3. Закрытый ленточный зерновой транспортёр

Примечание – составлено автором на основе (Closed belt conveyors, 2023)

В табл. 2 представлены технические характеристики ряда моделей закрытых ленточных

транспортёров, которые на сегодняшний день применяются в сельскохозяйственных работах по сбору, транспортировке и хранению зерна в аграрных предприятиях Республики Казахстан.

На рис. 4 представлена схема крепления элементов ленточного транспортёра.

Таблица 2. Технические характеристики моделей ленточных транспортёров закрытого типа

Модель	Производительность (тонн/час)	Скорость движения ленты (м/с)	Ширина ленточного полотна (мм)
DMI SVC 400	60-120	1,5-3,5	400
DMI SVC 500	120-240	1,5-3,5	500
DMI SVC 600	160-240	1,5-3,5	600
DMI SVC 700	240-420	1,5-3,5	700
DMI SVC 800	260-550	1,5-3,5	800
DMI SVC 1000	370-750	1,5-3,5	1000
DMI SVC 1200	470-950	1,5-3,5	1200
DMI SVC 1300	580-1100	1,5-3,5	1300

Примечание – составлено автором на основе (Closed belt conveyors, 2023)

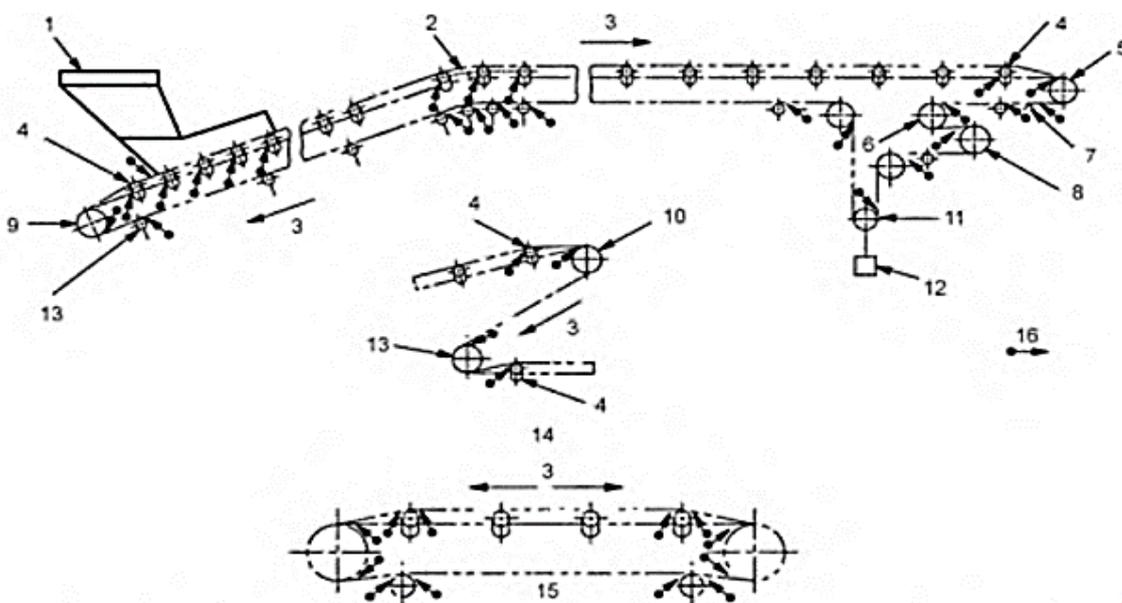


Рисунок 4. Конструктивная схема крепления элементов ленточного транспортёра

Примечание – составлено автором на основе (GOST EN 620-2012, 2012)

Цифрами на рис. 4 обозначены:

- 1 – загрузочная камера;
- 2 – область размещения роликовых опор криволинейного участка транспортёра;
- 3 – вектор движения транспортёрной ленты;
- 4 – роликовая опора переходного типа;
- 5 – барабан конечный передний;
- 6 – барабан оборотный;
- 7 – скребок;
- 8 – барабан приводящий;

- 9 – барабан конечный задний;
- 10 – барабан разгрузочной камеры;
- 11 – барабан натяжения;
- 12 – противовес натяжения вертикального;
- 13 – барабан отклоняющий;
- 14 – разгрузочная камера стандартная;
- 15 – лента возвратная;
- 16 – зона затягивания.

Динамические характеристики ленточных транспортёров для работы с засоренными зерновыми культурами

Параметры свободного вращения роликов и барабанов ленточного транспортёра устанавливаются согласно положениям ГОСТ 22647-77. Для определения допустимого момента начала вращения ролика и барабана используется формула (GOST 22647-77, 1977)

$$M = \theta_m \frac{D}{2}, \quad (10)$$

где: θ – коэффициент сопротивления вращению, для ленточных зерновых транспортёров принимается равным 0,04 (ролики) и 0,07 (барабаны);

m – масса частей вращения ролика или барабана (кг);

D – наружный диаметр барабана или ролика (см).

Совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами предполагает необходимость математического обоснования оптимальных режимов его работы. В данном контексте, принимая во внимание расчётную производительность транспортера, для определения ширины ленты следует воспользоваться уравнением:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{\rho v t g \varphi}}, \quad (11)$$

где: Q – производительность зернового ленточного транспортёра (кг/с);

ρ – плотность смеси зерна с сором на ленте транспортёра (кг/м³);

v – скорость движения транспортёрной ленты (м/с);

φ – угол естественного уклона транспортируемой смеси на ленте (рад).

Оценка уровня обеспечения отсутствия проскальзывания ленты транспортёра по барабану производится с использованием неравенства Эйлера:

$$F_n \leq F_0 e^{f\alpha}, \quad (12)$$

где: f – динамический коэффициент трения ленты об барабан;

α – угол обхватывания лентой барабана привода транспортёра.

Производительность ленточного транспортёра определяет его способность перемещать определённый объём зерна в единицу времени (измеряется в т/ч). Согласно положениям СНиП 2.05.07-85, регламентирующего последовательность расчёта динамических параметров ленточных транспортёров, производительность ленточного зернового транспортёра также может быть выражена формулой (13):

$$Q = KB^2 \rho v, \quad (13)$$

где: K – коэффициент производительности, значение которого определяется формой ленты

транспортёра и размерами, которые данную форму устанавливают.

Для определения силы натяжения ленты транспортёра неравенство (3) разрешается посредством следующего уравнения:

$$F_{л} = CF_0, \quad (14)$$

где C – численный коэффициент, который определяется посредством специальных расчётов и экспериментов.

Величина тягового усилия ленты транспортёра определяется посредством складывания векторов всех сил сопротивления её движению, что аналогично разнице значений нарастающего и затухающего натяжения:

$$F_T = \sum W = F_{л} - F_0. \quad (15)$$

Значение тягового усилия, которое передаётся от приводящего вала непосредственно к ленте транспортёра при заданных, известных параметрах угла обхвата α и затухающего натяжения F_0 , можно определить по уравнению:

$$F_{Tv} = F_0(e^{f\alpha} - 1). \quad (16)$$

Из уравнения (7) можно получить параметр нарастания натяжения ленты зернового транспортёра:

$$F_{л} = F_0 \frac{e^{f\alpha}}{K_3}, \quad (17)$$

где K_3 – расчётный числовой коэффициент запаса.

Согласно действующим положениям СНиП 2.05.07-85 для определения суммарной длины ленты транспортёра используется выражение

$$L_s = \sum L_n + \sum l_n + \left(\frac{\pi}{360}\right)(\sum \alpha_n D_n + 2 \sum \varphi_n R_n), \quad (19)$$

где: L_n – длина n -го прямого участка ленты;

l_n – длина n -го стыка;

α_n – угол охвата транспортерной лентой n -го барабана;

D_n – диаметр n -го барабана;

φ_n – угол дуги n -й окружности, по дуге которой направлена лента зернового транспортёра;

R_n – радиус n -й окружности.

Представленные выражения наглядно иллюстрируют наличие прямой зависимости производительности ленточного транспортёра от ширины и длины ленты, скорости её движения и плотности смеси зерна и сора (при значительной засоренности зерновой смеси). При этом следует обратить внимание на тот факт, что высокая плотность перемещаемой смеси обуславливает высокое натяжение ленты транспортёра, что негативно сказывается на длительности её эксплуатации и приводит к преждевременному износу. Данное обстоятельство следует принимать во внимание при разработке конструкции ленточных транспортёров, предназначенных для работы на предприятиях сельскохозяйственной отрасли, где предполагается транспортировка только засоренных зерновых культур.

Выражение (9) отображает зависимость длины транспортёрной ленты от ряда конструктивных параметров, изменение которых при совершенствовании конструкции

влечёт за собой изменение параметра длины L_s и неизбежно отразится на динамических характеристиках ленточного транспортёра.

Совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами предполагает последовательное повышение его производительности при параллельном снижении показателя натяжения транспортёрной ленты (F_n), что препятствует её износу и преждевременному выходу из строя. Исходя из представленных выше зависимостей (7) и (8) данная задача может быть успешно решена за счёт последовательного снижения параметра затухающего натяжения (F_0) и сведения к минимально возможному значению угла обхвата лентой приводного барабана транспортёра. Кроме того, при необходимости возможно внесение изменений в конструкцию ленточного транспортёра, предполагающих технологическое усовершенствование отдельных узлов.

Б. Маршан с соавторами провели научное исследование ряда проблемных аспектов достижения точности и надёжности функционирования современных технологических устройств, предназначенных для работы с сельскохозяйственными культурами, В ходе выполнения данной научной работы были затронуты вопросы применения ленточных транспортёров в работе с зерновыми культурами. Авторы отмечают, что современные технологии точного земледелия предоставляют фермерам широкое поле возможностей для экспериментов в масштабах, определяемых ими самими. В данном контексте вопросы повышения урожайности зерновых культур напрямую связаны с необходимостью последовательного совершенствования динамических характеристик ленточных транспортёров для работы с зерновыми культурами высокой степени засорённости (Marchant and others, 2020). Мнение учёных полностью подтверждается результатами, которые были получены при выполнении данной научной работы, при этом вопросы повышения урожайности зерновых культур требуют более детального изучения, ввиду их существенной практической важности.

Научно-исследовательский коллектив в составе Н.И. Канабарро, М.А. Мазутти и М. до Кармо Феррейра рассмотрел в совместной научной работе ряд вопросов практического применения ленточных транспортёров для транспортировки сильно засоренных зерновых культур, а также сушки листьев на транспортёрной ленте. По мнению учёных, совершенствование конструктивных параметров ленточных транспортёров и правильный выбор режимов их функционирования при работе с зерновыми культурами высокой степени засоренности необходимы для повышения производительности сельскохозяйственных предприятий и развития сельскохозяйственной отрасли в целом (Canabarro, Mazutti, do Carmo Ferreira, 2019). Мнение исследователей полностью подтверждается результатами данного научного исследования, поскольку в нём доказано наличие прямой взаимосвязи между динамическими характеристиками ленточных транспортёров и их производительностью.

В совместном научном исследовании Ф.Г. Морено с соавторами рассмотрели общие принципы применения агропромышленной техники в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур. По мнению авторов, динамические характеристики ленточных транспортёров имеют ключевое значение при планировании операций в области повышения уровня технической оснащённости сельскохозяйственных предприятий, производящих работы по сбору, хранению и транспортировке зерновых культур (Moreno and others, 2023). Мнение исследователей подтверждается результатами данной научной работы, при этом вопросы поиска путей повышения уровня технической оснащённости сельскохозяйственных предприятий требуют более детального изучения, что открывает дополнительные перспективы проведения научных исследований.

В то же время Т. Рирдон с соавторами провели совместное научное исследование роли

сельскохозяйственных инноваций, одним из направлений которых является совершенствование конструктивных особенностей транспортёров для перемещения зерновых культур, в вопросах трансформации систем обеспечения продовольствием. Учёные обращают внимание на тот факт, что улучшение режимных и конструктивных параметров ленточных транспортёров для работы с сильно засоренными зерновыми культурами чрезвычайно важно с точки зрения повышения их производительности, которая выражается в способности данной техники к перемещению заданных объёмов зерна в единицу времени на конкретное расстояние (Reardon and others, 2019). Выводы учёных полностью подтверждаются результатами, которые были получены в ходе выполнения данного научного исследования.

Г. Гебресенбет с соавторами провели совместное научное исследование общих принципов применения современных технологических решений при проектировании сельскохозяйственного оборудования. В частности, учёными отмечается, что при проектировании ленточных транспортёров для работы с зерновыми культурами следует принимать во внимание необходимость совершенствования их конструкции таким образом, чтобы обеспечить достижение высокого уровня динамических характеристик (Gebresenbet and others, 2023). Это обеспечит возможности повышения производительности ленточных транспортёров и позитивно скажется на работе сельскохозяйственных предприятий, преследующих задачи хранения и очистки зерновых культур. Выводы учёных нашли подтверждение в результатах данной научно-исследовательской работы, открывая при этом перспективы изучения вопросов взаимосвязи производительности технологического сельскохозяйственного оборудования и эффективности функционирования предприятий аграрного сектора.

Научно-исследовательский коллектив в лице Н.А. Авьяра с соавторами совместно рассмотрели вопросы практического применения технологического оборудования для транспортировки и хранения продовольственного зерна. По мнению исследователей, присутствие в зерне разнородных примесей значительно затрудняет его хранение и транспортировку, а также оказывает негативное влияние на его общее качество. Формулируется вывод о том, что последовательное совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного транспортёра для работы с сильно засоренными зерновыми культурами необходимо для достижения высоких показателей качества зерна, а также для увеличения общего срока его хранения (Aviara and others, 2022). Выводы группы учёных представляются спорными, поскольку динамические характеристики ленточных транспортёров не оказывают непосредственного влияния на качество зерна и продолжительность его хранения.

Т. Луо с соавторами провели научное исследование ряда проблемных аспектов классификации сорняков сельскохозяйственных культур, в котором затронули вопросы влияния засоренности зерновых на их транспортировку и хранение, а также на изменение параметров динамики ленточных транспортёров, привлекаемых для работы с зерном. По мнению учёных, засоренность зерна негативно влияет на качество и продолжительность его хранения, а также сказывается при транспортировке. При транспортировке засоренного зерна на ленточном транспортёре большое значение имеют возможности совершенствования конструктивных особенностей транспортёров и режимов их работы, поскольку от этого зависит производительность данных технологических устройств (Luo and others, 2023). Именно производительность является одним из основных режимных параметров подобного рода устройств. Выводы группы учёных подтверждаются результатами, которые были получены при выполнении данной научной работы.

В. Ву с группой учёных-исследователей в составе Ф. Шах и Б-Л Мал совместно рассмотрели в научной работе ряд вопросов полегаия зерновых культур, а также их

транспортировки и хранения. Исследователи отмечают, что полегание зерновых культур является одним из факторов, негативно влияющих на урожайность зерновых, а также существенно затрудняющих их транспортировку. По мнению учёных, это выражается в увеличении засоренности зерновых культур при их транспортировке на ленточных транспортёрах, что может стать причиной нарушения режимов работы данных технологических устройств (Wu, Shah, Mal, 2023). Выводы исследователей представляются спорными, поскольку засоренность зерна напрямую не является причиной нарушения нормального функционирования ленточных транспортёров.

В свою очередь, С. Джафари в научно-исследовательской работе, направленной на изучение различных аспектов послеуборочной обработки сельскохозяйственных продуктов с применением современных технологических устройств отмечает, что конструктивные и режимные параметры ленточного конвейера оказывают существенное влияние на качество и скорость транспортировки зерна. Исследователь обращает внимание на тот факт, что при сортировке зерновых культур и их перемещении к месту хранения следует принимать во внимание как скорость движения транспортёрной ленты, так и её ширину, поскольку указанные параметры определяют производительность транспортёра в целом (Jafari, 2021). Выводы исследователя полностью подтверждаются результатами, которые были получены при выполнении данной научно-исследовательской работы.

Г. Бхуллар и Н. Бхуллар в совместном научном исследовании рассмотрели общие принципы развития устойчивого сельского хозяйства, где затронули вопросы применения ряда технологических устройств. В частности, исследователи отметили, что производство сельскохозяйственных культур предполагает применение современных механизмов для их транспортировки, одним из которых является ленточный транспортёр. Отмечается, что оптимальное сочетание конструктивных и режимных параметров транспортёра (скорость движения и ширина ленты, мощность и производительность) определяют эффективность его применения при транспортировке зерна к месту хранения и при уборочных работах, когда необходимо быстро и качественно провести его уборку (Bhullar G., Bhullar N., 2012). Выводы исследователей полностью подтверждаются результатами, которые были получены при выполнении данного научного исследования.

Таким образом, обсуждение результатов данной научной работы в контексте их аналитического сравнения с результатами и выводами других учёных, проводивших изучение тематик, прямо или косвенно связанных с исследованиями динамических характеристик ленточных транспортёров для работы с сильно засоренными зерновыми культурами, продемонстрировало их соответствие по ключевым направлениям научного исследования.

Заключение. В ходе выполнения данного научного исследования удалось установить, что показатель производительности ленточного конвейера, предназначенного для работы с зерновыми культурами, напрямую зависит от скорости движения ленты, её ширины и длины, а также параметра плотности перемещаемого сильно засоренного зерна. Таким образом, проведенное исследование динамических характеристик ленточного транспортёра для работы с сильно засоренными зерновыми культурами продемонстрировало наличие степени влияния засоренности зерновой смеси на производительность ленточного транспортёра, по которому она перемещается. При этом засоренность перемещаемого зерна негативно сказывается на длительности срока эксплуатации ленты транспортёра, поскольку вызывает её дополнительное натяжение и усиливает износ.

Скорость движения транспортёрной ленты, её ширина, а также параметр производительности являются основными динамическими характеристиками ленточного транспортёра, предназначенного для работы с сильно засоренными зерновыми

культурами. Перспективы совершенствования конструктивных и режимных параметров исследуемого агрегата заключаются в последовательном повышении его производительности при параллельном снижении параметра нарастания натяжения транспортёрной ленты ($F_{л}$). Это обуславливает повышение эффективности практического применения ленточных транспортёров для проведения работ по погрузке зерна и транспортировке его к местам хранения, что имеет существенное значение с точки зрения организации деятельности сельскохозяйственных предприятий Казахстана, специализирующихся на проведении работ по сбору, транспортировке и хранению зерновых культур.

Постепенное совершенствование конструктивных характеристик и отладка режимов функционирования ленточного транспортера, используемого для работы с сильно засоренными зерновыми культурами, создает предпосылки для улучшения его динамических характеристик. Это необходимо с точки зрения создания оптимальных условий для сбора зерна во время зерноуборочной кампании и транспортировки его к местам хранения. При этом следует уделять внимание вопросам очистки зерна в местах хранения во избежание его порчи и преждевременного прихода в негодное состояние.

Перспективы дальнейших научных исследований в направлении, которое определяется тематикой данной работы, заключаются в возможности практического применения их результатов при проектировании высокопроизводительных ленточных конвейеров, предназначенных для работы с зерновыми культурами на предприятиях аграрного сектора экономики Республики Казахстан.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Alighaleh P., Gundoshmian T.M., Alighaleh S., Rohani A. (2023). Feasibility and reliability of agricultural crop height measurement using the laser sensor array, *Information Processing in Agriculture*. Vol. 11, no. 2, 228-236, <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2023.02.005>
- Aviara N.A., Liberty J.T., Olatunbosun O.S., Shoyombo H.A., Oyeniyi S.K. (2022). Potential application of hyperspectral imaging in food grain quality inspection, evaluation and control during bulk storage, *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 8, 2666-1543, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100288>
- Belt conveyors (2023), <https://www.dehsetiler.kz/products/grain-handling-equipments/belt-conveyors>
- Bhullar G., Bhullar N. (2012). *Agricultural Sustainability*, London, Academic Press <https://www.elsevier.com/books/agricultural-sustainability/bhullar/978-0-12-404560-6>
- Canabarro N.I., Mazutti M.A., do Carmo Ferreira M. (2019). Drying of olive (*Olea europaea* L.) leaves on a conveyor belt for supercritical extraction of bioactive compounds: Mathematical modeling of drying/extraction operations and analysis of extracts, *Industrial Crops and Products*, Vol. 136, 140-151, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.004>
- Cesco S., Sambo P., Borin M., Basso B., Orzes G., Mazzetto F. (2023). Smart agriculture and digital twins: Applications and challenges in a vision of sustainability. *European Journal of Agronomy*. Vol. 146, 1161-1176, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126809>
- Closed belt conveyors, 2023, <https://www.dehsetiler.kz/products/grain-handling-equipments/enclosed-belt-conveyors>
- Fu X., Niu H. (2022). Key technologies and applications of agricultural energy Internet for agricultural planting and fisheries industry, *Information Processing in Agriculture*. Vol.10, 416-437, <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.10.004>
- Gebresenbet G., Bosona T., Patterson D., Persson H., Fischer B., Mandaluniz N., Chirici G., Zacepins A., Komasilovs V., Pitulac T., Nasirahmadi A. (2023). A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems. *Smart Agricultural Technology*. Vol. 5, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100255>
- GOST EN 620-2012, 2012, <http://vsegost.com/Catalog/55/55149.shtml>
- GOST 22647-77, 1977, <https://meganorm.ru/Data2/1/4294742/4294742143.pdf>
- Jafari S. (2021). *Postharvest and Postmortem Processing of Raw Food Materials*, Soston, Woodhead Publishing. <https://www.elsevier.com/books/postharvest-and-postmortem-processing-of-raw-food-materials/jafari/978-0-12-818572-8>

- Ленточный транспортер для зерна: назначение, виды, преимущества. (2022) <https://csharpcoderr.com/28800> // Lentochnyj transporter dlja zerna: naznachenie, vidy, preimushhestva. (2022), <https://csharpcoderr.com/28800>.
- Higgins V., Van der Velden D., Bechtet N., Bryant M., Battersby J., Belle M., Klerkx L. (2023). Deliberative assembling: Tinkering and farmer agency in precision agriculture implementation. *Journal of Rural Studies*. Volume 100, 747-792, <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103023>
- Luo T., Zhao J., Gu Y., Zhang S., Qiao X., Tian W., Han Y. (2023), Classification of weed seeds based on visual images and deep learning. *Information Processing in Agriculture*. Vol. 10, no. 1, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.10.002>
- Marchant B., Rudolph S., Roques S., Kindred D., Gillingham V., Welham S., Coleman C., Sylvester-Bradley R., 2020, Establishing the precision and robustness of farmers' crop experiments. *Field Crops Research*. Vol. 230, 31-45. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.006>
- Moreno F.G., Zimmermann G.G., Jasper S.P., da Silva Ferraz R., Savi D., 2023, Sensors installation position and its interference on the precision of monitoring maize sowing. *Smart Agricultural Technology*. Vol. 4, 1255-1369 <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100150>
- Reardon T., Echeverria R., Berdegue J., Minten B., Liverpool-Tasie S., Tschirley D., Zilberman D. (2019), Rapid transformation of food systems in developing regions: Highlighting the role of agricultural research & innovations. *Agricultural Systems*. Vol. 172, 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.022>
- Richard D., Liembrock-Rosch L., Kessler S., Stoll E., Zimmer S., 2023, Soybean yield response to different mechanical weed control methods in organic agriculture in Luxembourg. *European Journal of Agronomy*. Vol. 147, 1162-1184, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126842>
- Salembier C., Segrestin B., Sinoir N., Templier J., Weil B., Meynard J-M. (2020). Design of equipment for agroecology: Coupled innovation processes led by farmer-designers. *Agricultural Systems*. Vol. 183, 1242-1264, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102856>
- СНИП 2.05.07-85. (1985) https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31282628&show_di=1&pos=2;-122#pos=2;-122
// СНІП 2.05.07-85. (1985) https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31282628&show_di=1&pos=2;-122#pos=2;-122
- Турдалиев А., Ильясова А. (2021). Исследование поперечного движения конвейерной ленты мощных ленточных конвейеров. *Бюллетень Каз НТУ им.К.И.Сатпаева*, №7, 72-74// Turdaliev A. Ilyasova A. (2021). Study of the transverse movement of the conveyor belt of powerful belt conveyors. *Bulletin of the KazNTU named after K.I. Satpaeva*, №7, pp. 72-74
- Чигамбаев Т.О., Юсупова С.А., Бижанов Д.Е. (2021). Казахстан. Исследование системы транспортировки ленточным конвейером на промышленных предприятиях. *Вестник Каз АТК*. № 1(116), с. 242-248// Chigambaev T.O., Jusupova S.A., Bizhanov D.E. (2021). Kazakhstan. Issledovanie sistemy transportirovki lentochnym konvejerom na promyshlennyh predpriyatijah, *Vestnik KazATK* No 1(116), 2021, s. 242-248
- Шаяхметов Е.Я. (2017), Конструктивное и технологическое обеспечение качества роликкоопор ленточных конвейеров, работающих в тяжелых условиях. Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева // Shajahmetov E.Ja. (2017), Konstruktivnoe i tehnologicheskoe obespechenie kachestva roliskoopor lentochnyh konvejerov, rabotajushhih v tjazhelyh uslovijah. Dissertacija na soiskanie stepeni doktora filosofii (PhD) Kazahskij nacional'nyj issledovatel'skij tehničeskij universitet imeni K.I. Satpaeva
- Wu W., Wang Y., Wang L., Xu H., Zorb C., Geilfus C-M., Xue C., Sun Z., Ma W. (2022). Booting stage is the key timing for split nitrogen application in improving grain yield and quality of wheat – A global meta-analysis. *Field Crops Research*. Vol. 287, 965-982, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108665>
- Wu W., Shah F., Ma B-L., 2023, Understanding of crop lodging and agronomic strategies to improve the resilience of rapeseed production to climate change. *Crop and Environment*. Vol. 1, Issue 2, pp.133-144. DOI:10.1016/j.crope.2022.05.005

Information about authors

Bekmyrza Zhumash Aitzhanuly – Doctoral student of the Department of Mechanical Engineering of Non-profit joint-stock company «Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly». Kostanay. Republic of Kazakhstan, 5112431@mail.ru, +77015112431