Тип статьи: научная
УДК 631.243
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-37-46

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ БУНКЕР ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Владимир Викторович Васильев [1]***, Дарья Дмитриевна Афоничева*** [2]***,***
Игорь Игоревич Аксенов [3]
[1]*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,*
г. Воронеж, Россия
[1] vasiliev.vladimir87@mail.ru
[2]daria.afonicheva@yandex.ru
[3]igor-aksenov1989@ya.ru

Автор, ответственный за переписку: Владимир Викторович Васильев, vasiliev.vladimir87@mail.ru
Corresponding author: Vladimir Vasiliev, vasiliev.vladimir87@mail.ru

Реферат. *Предложен усовершенствованный цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции, отличительной особенностью которого является характер расположения в фундаменте ниже пола сквозных дополнительных каналов с транспортерами, которые параллельны друг другу и в обязательном порядке пересекают центральный канал с центральным транспортером под прямым углом. Такое расположение сквозных дополнительных каналов с транспортерами позволяет равномерно распределить по площади пола дополнительные воронки, в результате этого обеспечивается равномерная разгрузка цилиндрического бункера по всей его площади с минимальными остатками сельскохозяйственной продукции на полу и работа транспортеров независимо друг от друга, что позволяет реализовать максимально возможную подачу сырья на каждый транспортер. Наиболее эффективная разгрузка бункера реализуется при полном открытии воронок и дополнительных воронок, когда происходит максимально возможная подача сельскохозяйственной продукции на центральный транспортер и на каждый транспортер, установленный в сквозном дополнительном канале. Приведены зависимости для определения технической производительности разгрузочной системы цилиндрического бункера, которые позволили выполнить сравнительный анализ технических производительностей усовершенствованного бункера и его прототипа. Выполненный анализ показал, что при равных условиях техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 30…33 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа. Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера зависит от особенностей расположения транспортеров друг относительно друга и от подачи воронок, чем выше подача воронок, тем больше техническая производительность транспортеров. Получена зависимость для расчета требуемой мощности двигателя привода при известном значении технической производительности транспортера. Практическое использование усовершенствованной конструкции цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции даст возможность быстрой выгрузки продукции.*

Ключевые слова: *цилиндрический бункер, сельскохозяйственная продукция, хранение, разгрузка, разгрузочная система, транспортер, техническая производительность, воронка, подача.*

ADVANCED CYLINDRICAL STORAGE BIN FOR AGRICULTURAL PRODUCTS

Vladimir Vasiliev [1]***, Daria Afonicheva*** [2]***, Igor Aksenov*** [3]
[1]*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

[1] vasiliev.vladimir87@mail.ru
[2]daria.afonicheva@yandex.ru
[3]igor-aksenov1989@ya.ru

Abstract. *An improved cylindrical hopper for storing agricultural products is proposed, the distinctive feature of which is the nature of the arrangement of through additional channels with conveyors in the foundation below the floor, which are parallel to each other and necessarily cross the central channel with the central conveyor at right angles. This arrangement of through additional channels with conveyors allows you to evenly distribute additional funnels over the floor area, as a result, uniform unloading of the cylindrical hopper is ensured over its entire area with minimal agricultural product residues on the floor and the operation of the conveyors independently of each other, which allows for the maximum possible supply of raw materials to each conveyor. The most efficient unloading of the hopper is realized when the funnels and additional funnels are fully opened, when the maximum possible supply of agricultural products occurs to the central conveyor and to each conveyor installed in the through additional channel. The dependences for determining the technical performance of the unloading system of a cylindrical hopper are given, which made it possible to perform a comparative analysis of the technical performance of the improved hopper and its prototype. The performed analysis showed that, under equal conditions, the technical performance of the unloading system of the improved cylindrical hopper is 30...33% higher than the technical performance of the unloading system of the prototype. The technical performance of the cylindrical hopper unloading system depends on the location of the conveyors relative to each other and on the funnel feed, the higher the funnel feed, the greater the technical performance of the conveyors. A dependence is obtained for calculating the required power of the drive motor at a known value of the technical performance of the conveyor. The practical use of the improved design of a cylindrical hopper for storing agricultural products will make it possible to quickly unload products.*

Keywords: *cylindrical hopper, agricultural products, storage, unloading, unloading system, conveyor, technical performance, funnel, feed.*

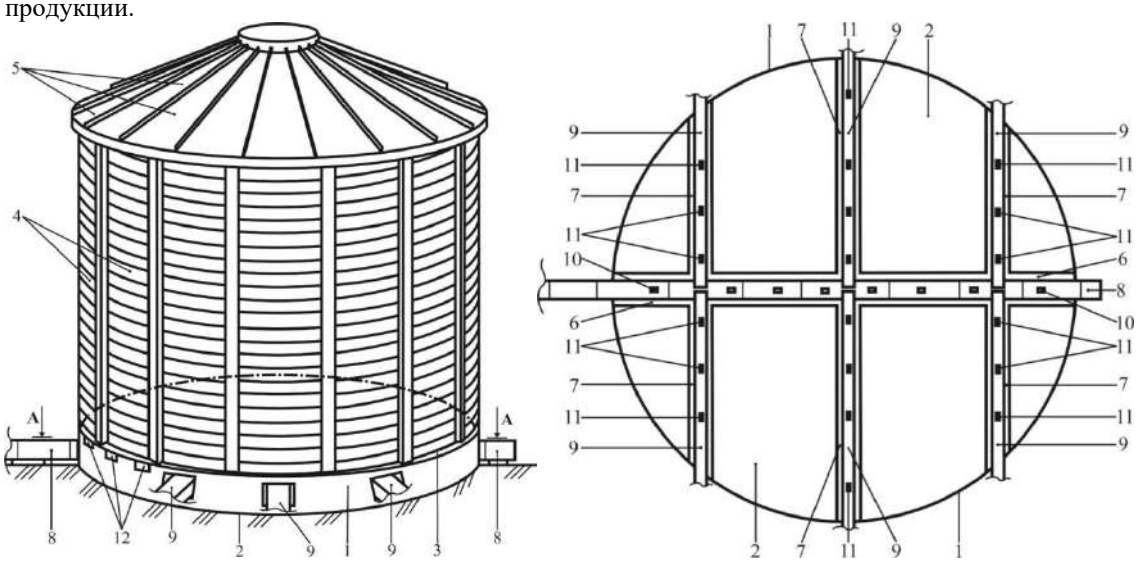
Для цитирования: Васильев В.В., Афоничева Д.Д., Аксенов И.И. Усовершенствованный цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции // Наука в центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 37-46. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-37-46.

For citation: Vasilliev V., Afonicheva D., Aksenov I. Advanced cylindrical storage bin for agricultural products. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 37-46. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-37-46.

Введение. Современное международное развитие различных отраслей агропромышленного комплекса (АПК) предусматривает не только производство сельскохозяйственной продукции, но и хранение произведенной или переработанной продукции на собственных складах, хранилищах. В настоящее время хранение сельскохозяйственной продукции может осуществляться в следующих зернохранилищах [1, 2, 3, 4, 5, 6]: бетонные стационарные элеваторы, склады (ангары, зерносклады), арочные бескаркасные зернохранилища, цилиндрические бункеры (металлические силосы, полимерные силосы, а также их модификации), герметичные полиэтиленовые рукава. При этом в различных странах мира [5, 6], в том числе и в России [1, 2, 3, 4] широкое распространение получило хранение сельскохозяйственной продукции в цилиндрических бункерах, которые имеют различную конструкцию. Проведенный анализ ряда известных цилиндрических бункеров [5, 6, 7, 8, 9] показал, что они характеризуются низкой производительностью системы разгрузки. Особенно указанный недостаток проявляется при большом диаметре бункера, когда сквозные дополнительные каналы с установленными в них транспортерами имеют круговое расположение вокруг фундамента цилиндрического бункера и пересекают сквозной центральный канал с установленным в нем центральным транспортером в двух точках. Учитывая выявленные недостатки хранилищ цилиндрической формы, на основе цилиндрического бункера, описанный в [7] с круговым расположением транспортеров, был предложен цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции, который представлен на рисунках 1 и 2.

Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции содержит [10]: фундамент 1, имеющий пол 2 и фундаментную подушку 3, на фундамент 1 установлена в сборе боковая стенка 4, а сверху боковой стенки закреплена в сборе крышка 5. В фундаменте 1 ниже пола 2 выполнены сквозной центральный канал 6, проходящий по всей длине диаметра фундамента 1, и сквозные дополнительные каналы 7, расположенные параллельно друг другу и пересекающие сквозной центральный канал 6 под прямым углом. В сквозном центральном канале 6 установлен центральный транспортер 8, выходящий за фундамент 1. В сквозных дополнительных каналах 7 установлены транспортеры 9, каждый из которых одним концом выходит за фундамент 1, а другим концом соединен с центральным транспортером 8. Центральный транспортер 8, установленный в сквозном центральном канале 6, связан с воронками 10, выполненными в полу 2 фундамента 1 вдоль сквозного центрального канала 6. Установленные в сквозных дополнительных каналах 7 транспортеры 9 связаны с дополнительными воронками 11, выполненными в полу 2 фундамента 1 и расположенными вдоль сквозных дополнительных каналов 7. По периметру фундамента 1 имеются аэрационные каналы 12, оборудованные в полу 2 фундамента 1 по обеим сторонам сквозного центрального канала 6, сверху которых установлены металлические решетки 13.

Предложенный вариант размещения в фундаменте 1 сквозных дополнительных каналов 7 с транспортерами 9, которые имеют параллельное расположение относительно друг другу, и пересекающих сквозной центральный канал 6 под прямым углом, позволяет равномерно распределить по площади пола 2 дополнительные воронки 11, в результате этого обеспечивается равномерная разгрузка цилиндрического бункера по всей его площади с минимальными остатками сельскохозяйственной продукции на полу 2 фундамента 1 и работа транспортеров 9 независимо друг от друга, что позволяет реализовать максимально возможную подачу сырья на каждый транспортер 8 и 9. В свою очередь установка в каждом сквозном дополнительном канале 7 отдельного транспортера 9, каждый из которых одним концом выходит за фундамент 1, а другим концом соединен с центральным транспортером 8, дает возможность производить техническое обслуживание и ремонт транспортеров независимо от уровня заполнения бункера сельскохозяйственной продукцией, а при выходе из строя любого транспортера исключает необходимость экстренной остановки разгрузки. Указанные преимущества размещения в фундаменте 1 сквозных дополнительных каналов 7 с транспортерами 9 в совокупности повышают производительность разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции.



а) б)

а – вид сбоку; б – разрез А-А

Рисунок 1 – Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции

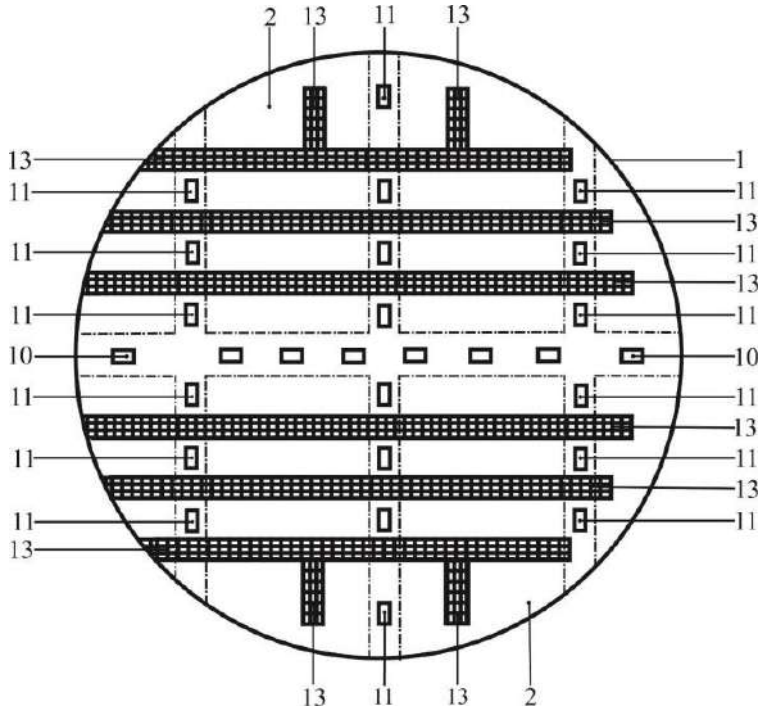


Рисунок 2 – Фундамент цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции вид сверху

Хранение сельскохозяйственной продукции в цилиндрическом бункере предложенной конструкции предусматривает обязательную выгрузку продукции из бункера. Рассмотрим подробно разгрузку цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции в рабочем режиме, которая осуществляется следующим образом. В зависимости от выбранного способа разгрузки бункера устройствами управления (на рисунках не показаны) регулируется подача сельскохозяйственной продукции через воронки 10 и дополнительные воронки 11. В результате этого за счет силы тяжести продукция поступает через воронки 10 и дополнительные воронки 11 соответственно на центральный транспортер 8 и транспортеры 9. Наиболее эффективная разгрузка бункера реализуется при полном открытии воронок 10 и дополнительных воронок 11, когда происходит максимально возможная подача сельскохозяйственной продукции на центральный транспортер 8 и на каждый транспортер 9. Транспортерами 9 сельскохозяйственная продукция перегружается на центральный транспортер 8, которым вместе с продукцией, поступившей через воронки 10, транспортируется к месту разгрузки. При полной разгрузке цилиндрического бункера через инспекционную дверь (на рисунках не показана) осуществляется ревизия по остаткам сельскохозяйственной продукции на полу 2 фундамента 1 между воронками 10 и дополнительными воронками 11. Все остатки сельскохозяйственной продукции принудительно направляются в воронки 10 или дополнительные воронки 11 и по транспортерам 9 и транспортеру 8 перемещаются к месту выгрузки. После этого цилиндрический бункер зачищается и загружается другой сельскохозяйственной продукцией.

Подробно проанализировав основные аргументы, повышающие эффективность разгрузки усовершенствованного цилиндрического бункера, а также процесс его разгрузки, можно сделать вывод, что повышение производительности разгрузки цилиндрического бункера в первую очередь зависит от характера расположения транспортеров 9 относительно центрального транспортера 8. Данный вариант расположения транспортеров 9 относительно центрального транспортера 8 определяет наиболее эффективное использование производительности разгрузочной системы, которая включает в себя центральный транспортер 8, транспортеры 9, воронки 10 и дополнительные воронки 11.

Целью данной работы был сравнительный анализ производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера с производительностью разгрузочной системы бункера, описанного в [7], что, по мнению авторов, требуется для практической реализации предложенного технического решения.

Результаты и обсуждение. Теоретическая производительность скребкового транспортера $П_0$ (т/ч) определяется по формуле

$$П_0 = \frac{mV}{l}, \tag{1}$$

где m – масса продукции, захватываемая скребком, кг;

V – скорость транспортера, м/с;

l – расстояние между скребками, м.

Скорость транспортера V зависит от мощности двигателя привода N (кВт) и преодолеваемого сопротивления движению транспортера P (кН)

$$V = \frac{\eta N}{P}, \tag{2}$$

где η – коэффициент полезного действия (КПД) механической передачи привода.

Сопротивление движению транспортера P является функцией двух аргументов: массы продукции, захватываемой скребком, m и скорости V, а теоретическая производительность транспортера $П_0$ ограничена мощностью двигателя привода N. Подставим формулу (2) в формулу (1)

$$П_0 = \frac{3,6m\eta N}{Pl}. \tag{3}$$

Техническая производительность транспортера $П_T$, которая не превышает теоретическую $П_0$, ($П_T \le П_0$) зависит от интенсивности подачи продукции на транспортер. Если принять, что техническая производительность транспортера равна его теоретической производительности ($П_T = П_0$), то из формулы (3) можно найти требуемую мощностью двигателя привода N

$$N = \frac{П_T Pl}{3,6m\eta}. \tag{4}$$

Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции $П_{ТРСБ}$ равна технической производительности центрального транспортера $П_{ТЦТ}$, то есть $П_{ТРСБ} = П_{ТЦТ}$.

Так как транспортеры, установленные в сквозных дополнительных каналах, в усовершенствованном бункере работают автономно друг от друга, то техническая производительность *i*-го транспортера, установленного в *i*-ом сквозном дополнительном канале, $П_{Ti}$ равна суммарной подаче от дополнительных воронок, выполненных в полу фундамента вдоль *i*-го сквозного дополнительного канала, Q_i (т/ч), то есть $П_{Ti} = Q_i$.

Техническая производительность центрального транспортера $П_{ТЦТ}$ усовершенствованного бункера равна

$$П_{ТЦТ} = \sum_{i=1}^{n} П_i + Q_{ЦК}, \tag{5}$$

где n – количество транспортеров, установленных в сквозных дополнительных каналах;

$Q_{ЦК}$ – суммарная подача от воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала, т/ч.

Из формулы (5) видно, что техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера формируется из технических производительностей транспортеров, установленных в сквозных дополнительных каналах, и из подачи каждой воронки, выполненной в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала.

У прототипа [7] дополнительные каналы с транспортерами имеют круговое расположение, с разделением на левую и правую цепочки взаимосвязанных транспортеров, то есть в каждой цепочке транспортеры соединены друг с другом, а порядок их соединения напрямую зависит от количества применяемых транспортеров в каждой цепочке. На основании сказанного, при условии что левая и правая цепочки взаимосвязанных транспортеров состоят из трех транспортеров, где два транспортера соединены друг с другом, а один работает автономно, суммарная техническая производительность транспортеров, установленных в дополнительных каналах, $П_{Тсум}$ будет равна

$$П_{Тсум} = П_{ТЛЦ} + П_{ТПЦ} = Q_{ЛЦЦТ} + Q_{ЛЦПТ} + Q_{ЛЦПрТЦТ} + Q_{ПЦЦТ} + Q_{ПЦПТ} + Q_{ПЦПрТЦТ}, \quad (6)$$

где $П_{ТЛЦ}$ – техническая производительность левой цепочки взаимосвязанных транспортеров, т/ч;

$П_{ТПЦ}$ – техническая производительность правой цепочки взаимосвязанных транспортеров, т/ч;

$Q_{ЛЦЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер левой цепочки, связанный с центральным транспортером и работающий автономно, т/ч;

$Q_{ЛЦПТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер левой цепочки, соединенный и совместно работающий с последующим транспортером, но не связанный с центральным транспортером, т/ч;

$Q_{ЛЦПрТЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер левой цепочки, соединенный и совместно работающий с предыдущим транспортером, и связанный с центральным транспортером, т/ч;

$Q_{ПЦЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер правой цепочки, связанный с центральным транспортером и работающий автономно, т/ч;

$Q_{ПЦПТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль дополнительного сквозного канала, в котором установлен транспортер правой цепочки, соединенный и совместно работающий с последующим транспортером, но не связанный с центральным транспортером, т/ч;

$Q_{ПЦПрТЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль дополнительного сквозного канала, в котором установлен транспортер правой цепочки, соединенный и совместно работающий с предыдущим транспортером, и связанный с центральным транспортером, т/ч.

Формула (6) регламентирует, что производительность левой и правой цепочек взаимосвязанных транспортеров зависит от суммарной подачи дополнительных воронок. При этом производительность транспортера левой или правой цепочки, соединенного и совместно работающего с предыдущим транспортером, равна соответственно $Q_{ЛЦПТ} + Q_{ЛЦПрТЦТ}$ или $Q_{ПЦПТ} + Q_{ПЦПрТЦТ}$.

Техническая производительность центрального транспортера $П_{ТЦТ}$ прототипа

$$П_{ТЦТ} = П_{Тсум} + Q_{ЦК}. \quad (7)$$

Для выполнения сравнительного анализа технической производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера с технической производительностью разгрузочной системы бункера-прототипа [7], обуславливаемся, что данный сравнительный анализ будет реализован при одинаковых условиях. Таким образом, в отношении разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции и разгрузочной системы прототипа с учетом опыта эксплуатации цилиндрических бункеров [11, 12], принимаются следующие условия.

1. Центральный транспортер выполнен в виде скребкового транспортера, который связан с четырьмя воронками, выполненными в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала.

2. Воронки, выполненные в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала, имеют прямоугольное сечение и создают одинаковую подачу. Подача каждой воронки изменяется в диапазоне от 2,0 т/ч до 29,0 т/ч шагом 3,0 т/ч.

3. Общее количество транспортеров, установленных в сквозных дополнительных каналах, рано шести. При этом каждый транспортер выполнен в виде скребкового транспортера, который связан с тремя дополнительными воронками, выполненными в полу фундамента и расположенными вдоль сквозных дополнительных каналов.

4. Дополнительные воронки, выполненные в полу фундамента и расположенные вдоль сквозных дополнительных каналов, имеют прямоугольное сечение и создают одинаковую подачу. Подача каждой дополнительной воронки изменяется от 1,0 т/ч до 19,0 т/ч с шагом 2,0 т/ч.

Учитывая весь комплекс принятых условий, сравнительный анализ технической производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера с технической производительностью разгрузочной системы его прототипа, реализовали для десяти вариантов (таблица 1).

Таблица 1 – Варианты сравнительного анализа производительности разгрузочных систем цилиндрических бункеров

Показатели	Значения для вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подача воронки, т/ч	2,0	5,0	8,0	11,0	14,0	17,0	20,0	23,0	26,0	29,0
Подача дополнительной воронки, т/ч	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0	19,0

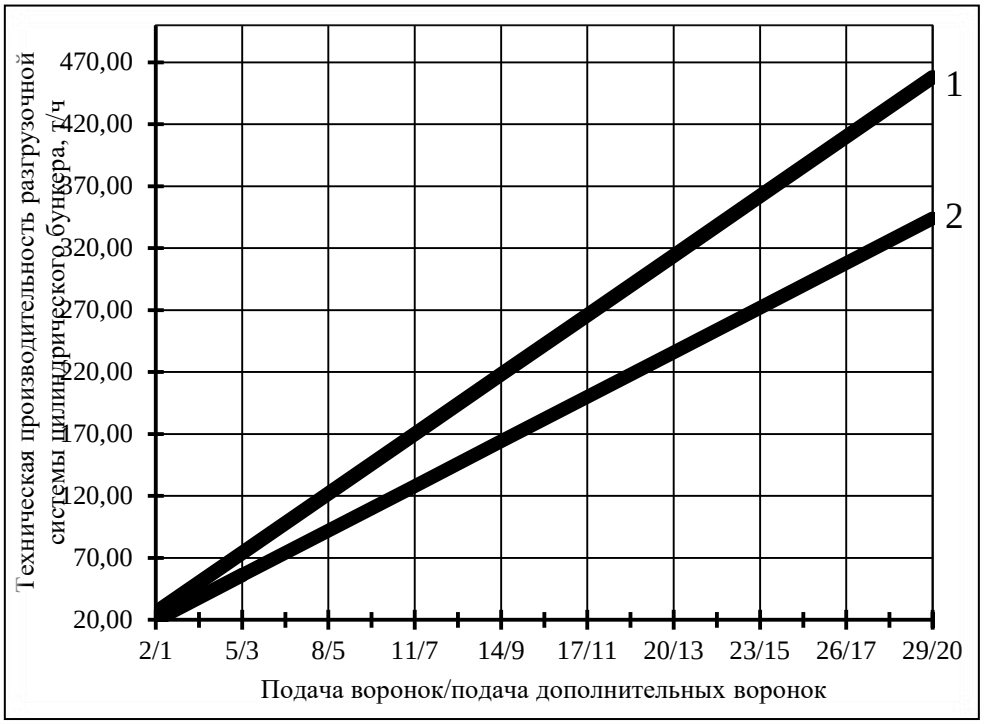
На основании таблицы 1 по формулам (5), (6) и (7) был выполнен расчет технической производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции и технической производительности разгрузочной системы прототипа. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблицы 2 – Результаты сравнительного анализа технической производительности разгрузочных систем цилиндрических бункеров

Показатели	Значения для вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера, т/ч	26	74	122	170	218	266	314	362	410	458
Производительность разгрузочной системы прототипа, т/ч	20	56	92	128	164	200	236	272	308	344

По данным таблицы 2 построены графики зависимости технической производительности разгрузочной системы цилиндрических бункеров от подачи воронок. Данные графики представлены на рисунке 3 (прямая *1* отражает изменение производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера от подачи воронок, прямая *2* – изменение производительности разгрузочной системы прототипа от подачи воронок). Из рисунка 3 видно, что техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера больше технической производительности разгрузочной системы прототипа. Также из графиков следует, что при увеличении подачи воронок техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера возрастает с большей интенсивностью, чем техническая производительность разгрузочной системы прототипа: при подаче воронок 2,0 т/ч и подаче дополнительных воронок 1,0 т/ч техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 30 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа, а при подаче воронок 29,0 т/ч и подаче дополнительных воронок 19,0 т/ч техническая

производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 33,1 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа. Это связано с тем, что в разгрузочной системе усовершенствованного цилиндрического бункера транспортеры, установленные в сквозных дополнительных каналах, используются более рационально.



1 – усовершенствованный цилиндрический бункер; 2 – прототип

Рисунок 3 – Графики зависимости технической производительности разгрузочной системы цилиндрических бункеров для хранения сельскохозяйственной продукции от подачи воронок

Выводы.

1. Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции зависит не только от производительности разгрузочных устройств, но и от их размещения. Предложенный вариант размещения в фундаменте сквозных дополнительных каналов с транспортерами параллельно друг другу обеспечивает автономную работу каждого транспортера, что обеспечивает их эффективное использование при разгрузке бункера.

2. Приведенные зависимости для определения технической производительности разгрузочной системы цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции позволили выполнить сравнительный анализ технических производительностей усовершенствованного бункера и его прототипа. Выполненный анализ показал, что при равных условиях техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 30…33 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа.

3. Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера зависит от особенностей расположения транспортеров друг относительно друга и от подачи воронок, чем выше подача воронок, тем больше техническая производительность транспортеров.

4. Известное при заданной подаче воронок значение технической производительности транспортера позволяет по полученной зависимости определить требуемую мощность двигателя привода.

5. Практическое использование усовершенствованной конструкции цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции даст возможность быстрой выгрузки продукции. Также следует отметить, что разгрузка бункера может выполняться в различной последовательности, то есть от центра к боковой стенке или в обратном порядке с постоянным равномерным распределением нагрузки на всю площадь боковой стенки, контактирующей с хранящейся продукцией.

Список источников

1. Зимняков В.М., Сергеев А.Ю. Сооружения и оборудование для хранения сельскохозяйственной продукции. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 207 с.

2. Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я. Перспективные технологии послеуборочной обработки и хранения зерна: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 200 с.

3. Трасенко А.П. и др. Современные технологии хранения зерна в хозяйствах: учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ Воронежский ГАУ, 2014. 135 с.

4. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. М.: ДеЛи принт, 2009. 718 с.

5. Bala B.K. Drying and storage of cereal grains: second edition. Wiley Blackwell, 2017. 336 p.

6. Boumans G. Grain handling and storage. ELSEVIER, 1985. 442 p.

7. Патент на изобретение № 2570189 РФ, МПК B65G 65/40. Система разгрузки цилиндрического бункера / Внайемэйер Дуглас Дж., Динджельдейн Марк С.; заявитель и патентообладатель СТБ, ИНК. № 2013103427/11; заявл. 17.06.2011; опубл. 10.12.2015, бюл. № 34. 18 с.

8. Patent № 2020223649 A1 USA, Int. Cl. A01F 25/20, B65G 47/16, 65/48. Sweep conveyor assembly for use in a silo or granary / Forsberg Gustaf; applicant and patent holder FORSBERG VAEXTODLING AB. № 16/626,967; filed: 27.12.2019; date application 16.07.2020. 31 p.

9. Patent № 2006018739 A1 USA, Int. Cl. B65G 1/00, A01F 25/18, 25/20, B65G 33/10, 65/36, 65/46. Agricultural silo auger system apparatus and method / Lambert Charles F; applicant and patent holder Lambert Charles F. № 10/854,230; filed: 27.05.2004; date application 26.01.2006. 12 p.

10. Патент на изобретение № 2799277 РФ, МПК B65G 65/40. Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции / В.В. Васильев, Д.Д. Афоничева, И.И. Аксенов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2023110466; заявл. 24.04.2023; опубл. 04.07.2023, бюл. № 19. 10 с.

11. Design of reinforced concrete silo / Fernando A. N. Silva, Bernardo Horo-witz, João M. P. Q. Delgado, António C. Azevedo // Springer, 2019. 93 p.

12. Малин Н.И. Технология хранения зерна. М.: Колос, 2005. 280 с.

Reference

1. Zimnyakov V.M., Sergeev A.Yu. Structures and equipment for storage of agricultural products. Penza: RIO PGSHA, 2015. 207 s.

2. Fedorenko V.F., Goltyapin V.Ya. Promising technologies of post-harvest processing and grain storage: scientific. analyte. review. Moscow: FSBI "Rosinformagrotech", 2017. 200 s.

3. Trasenko A.P. et al. Modern technologies of grain storage in farms: a textbook. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2014. 135 s.

4. Yukish A.Well. Ilyina O.A. Technique and technology feeding Zerna. M.: Deli print, 2009. 718 s.

5. Bala B.K. Drying and storage of cereal grains: second edition. Wiley Blackwell, 2017. 336 s.

6. Boumans G. Grain handling and storage. ELSEVIER, 1985. 442 s.

7. Patent for invention № 2570189 of the Russian Federation, IPC B65G 65/40. Cylindrical hopper unloading system / Vnaemeyer Douglas J., Dingeldein Mark S.; applicant and patent holder STB, INC. №. 2013103427/11; application 17.06.2011; publ. 10.12.2015, bul. №. 34. 18 s.

8. Patent № 2020223649 A1 USA, Int. Cl. A01F 25/20, B65G 47/16, 65/48. Sweep conveyor assembly for use in a silo or granary / Forsberg Gustaf; applicant and patent holder FORSBERG VAEXTODLING AB. № 16/626,967; filed: 27.12.2019; date application 16.07.2020. 31 s.

9. Patent № 2006018739 A1 USA, Int. Cl. B65G 1/00, A01F 25/18, 25/20, B65G 33/10, 65/36, 65/46. Agricultural silo auger system apparatus and method / Lambert Charles F; applicant and patent

holder Lambert Charles F. № 10/854,230; filed: 27.05.2004; date application 26.01.2006. 12 s.

10. Patent for invention № 2799277 of the Russian Federation, IPC B65G 65/40. Cylindrical bunker for storing agricultural products / V.V. Vasiliev, D.D. Afonicheva, I.I. Aksenov; applicant and patent holder of the Voronezh State Agrarian University. №. 2023110466; application №. 24.04.2023; publ. 04.07.2023, bul. №. 19.10 s.

11. Design of reinforced concrete silo / Fernando A. N. Silva, Bernardo Horo-witz, João M. P. Q. Delgado, António C. Azevedo // Springer, 2019. 93 s.

12. Malin N.I. Grain storage technology. Moscow: Kolos, 2005. 280 s.

Информация об авторах

В.В. Васильев - кандидат технических наук, доцент; Д. Д. Афоничева – студент; Г.А. Симонов – доктор сельскохозяйственных наук; И.И. Аксенов – старший преподаватель.

Information about the authors

V. Vasiliev – Candidate of technical sciences; D. Afonicheva – student; I. Aksenov – Senior lecture.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023