

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.243

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_90

EDN: EWFSAY

Обоснование параметров системы разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции

Владимир Викторович Васильев^{1✉}, Дарья Дмитриевна Афоничева²,
Игорь Игоревич Аксенов³

^{1, 2, 3} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия

¹ vasiliev.vladimir87@mail.ru✉

Аннотация. Сохранность урожая является одной из самых важных задач, стоящих перед сельхозтоваро-производителями. Оптимальным способом хранения сыпучей продукции, в первую очередь зерна, являются бункеры. Предложен цилиндрический бункер для хранения с.-х. продукции с повышенной производительностью разгрузки. Выполнение в фундаменте цилиндрического бункера сквозных дополнительных каналов с транспортерами обеспечивает равномерную разгрузку бункера по всей его площади с минимальными остатками продукции на полу. При этом установленные в сквозных дополнительных каналах транспортеры работают независимо друг от друга, что позволяет реализовать максимально возможную подачу продукции на каждый транспортер. Высокая производительность разгрузки цилиндрического бункера достигается не только за счет выполнения в фундаменте сквозных дополнительных каналов с транспортерами, но и обоснования рациональных параметров системы разгрузки бункера, в которую входят центральный транспортер, транспортеры, расположенные в сквозных дополнительных каналах, воронки, устройства управления, регулирующие подачу продукции через воронки. Приведена методика обоснования параметров системы разгрузки бункера, которая позволяет определить фактические ширину и высоту желобов скребковых транспортеров, используемых для выгрузки сельскохозяйственной продукции из бункера. Данная методика основывается на том, что фактические ширина и высота желобов скребковых транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах, определяются из условия равенства технической производительности транспортера суммарной пропускной способности дополнительных воронок, связанных с данным транспортером, а фактические ширина и высота желобов скребкового центрального транспортера – из условия равенства технической производительности центрального транспортера сумме технических производительностей транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах, и суммарной пропускной способности воронок, связанных с центральным транспортером.

Ключевые слова: цилиндрический бункер, сельхозпродукция, хранение, сквозной канал, скребковый транспортер, желоб, воронка, производительность

Для цитирования: Васильев В.В., Афоничева Д.Д., Аксенов И.И. Обоснование параметров системы разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 2(81). С. 90–99. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_2_90–99.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Justification of the parameters of the unloading system of a cylindrical hopper for storing agricultural products

Vladimir V. Vasiliev^{1✉}, Daria D. Afonicheva², Igor I. Aksenov³

^{1, 2, 3} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,
Voronezh, Russia

¹ vasiliev.vladimir87@mail.ru✉

Abstract. Crop safety is one of the most important targets facing agricultural producers. The optimal way to store bulk products, primarily grain, are hoppers. A cylindrical hopper for storing agricultural products (for example, grain) with increased unloading capacity is proposed. The implementation of additional open-ended channels with conveyors in the foundation of the cylindrical hopper ensures uniform unloading of the hopper over its entire area with minimal product residues on the floor. At the same time, the conveyors installed in the additional open-ended

channels operate independently of each other, which allows for the maximum possible supply of products to each conveyor. High unloading performance of a cylindrical hopper is achieved not only by performing additional open-ended channels with conveyors in the foundation, but also by substantiating the rational parameters of the hopper unloading system, which includes a central conveyor, conveyors located in additional open-ended channels, bins, control devices regulating the supply of products through the bins. The methodology for substantiating the parameters of the hopper unloading system is presented, which allows determining the actual width and height of the chutes of scraper conveyors used to unload agricultural products from the hopper. This technique is based on the fact that the actual width and height of the chutes of scraper conveyors located in additional open-ended channels are determined from the condition of equality of the technical productivity of the conveyor of the total throughput of additional bins associated with this conveyor, and the actual width and height of the chutes of the scraper central conveyor – from the condition of equality of the technical productivity of the central conveyor to the sum of the technical capacities of the conveyors located in additional open-ended channels and the total throughput of the bins connected to the central conveyor.

Keywords: cylindrical hopper, agricultural products, storage, open-ended channel, scraper conveyor, chute, bin, productivity

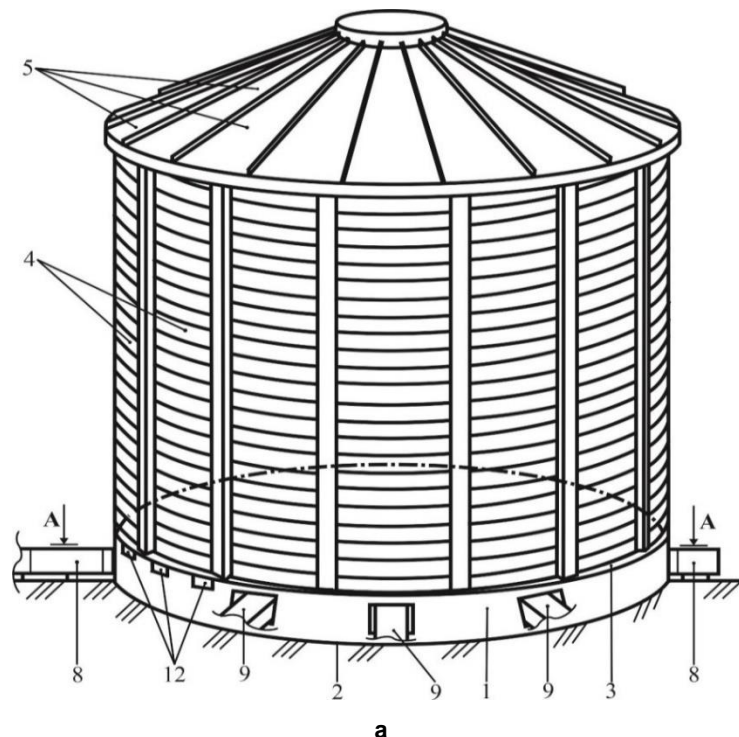
For citation: Vasiliev V.V., Afonicheva D.D., Aksenov I.I. Justification of the parameters of the unloading system of a cylindrical hopper for storing agricultural products. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(2):90-99. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_2_90-99.

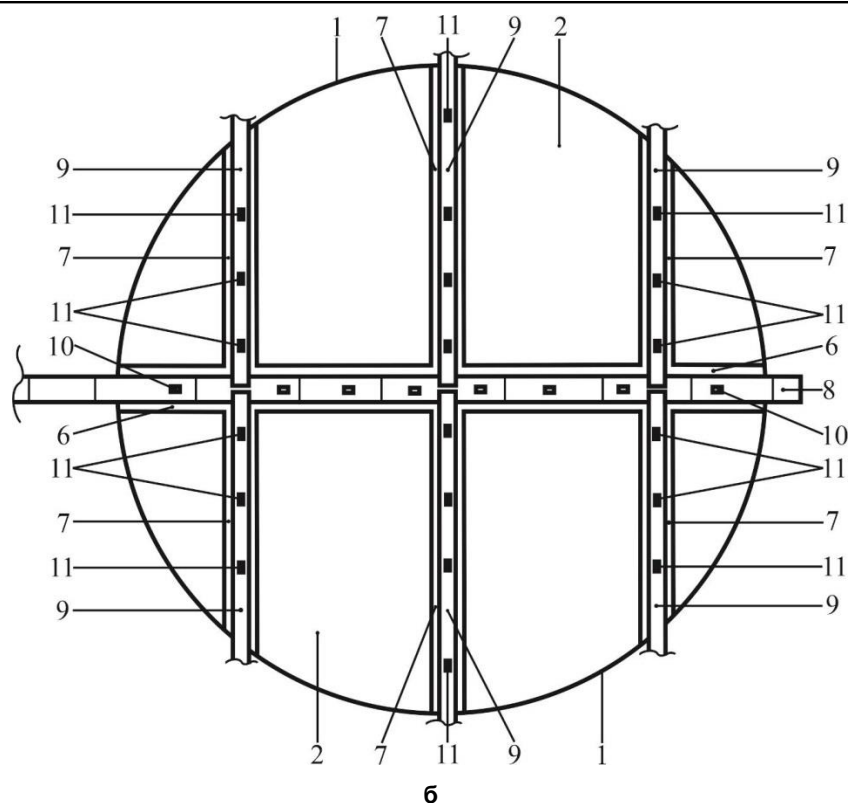
Введение

Вопросы правильной организации хранения сельскохозяйственной продукции всегда были чрезвычайно актуальны для сельхозтоваропроизводителей. Оптимальными способами хранения сыпучей продукции, в первую очередь зерна, являются бункеры и силосы. В России широкое распространение получило хранение сыпучей сельскохозяйственной продукции в металлических цилиндрических бункерах, которые имеют различную конструкцию [4, 6, 10, 11, 13].

Проведенный анализ ряда известных технических решений, применяемых в России и других странах мира, показал, что они характеризуются низкой производительностью системы разгрузки, что особенно остро проявляется при большом диаметре бункера [4, 6, 8, 14–21].

Предложен цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции (например, зерна, гранулированного шрота и комбикорма, минеральных удобрений) с повышенной производительностью разгрузки [1, 12] (рис. 1).





**Рис. 1. Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции:
а – вид сбоку; б – разрез А-А**

Предложенный бункер содержит фундамент 1, имеющий пол 2 и фундаментную подушку 3, на фундамент 1 установлена в сборе боковая стенка 4, сверху которой 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 – транспортеры 9, каждый из которых одним концом выходит за фундамент 1, а другим концом соединен с центральным транспортером 8, который связан с воронками 10, выполненными в полу 2 фундамента 1 вдоль сквозного центрального канала 6 (рис. 1 и 2). Транспортеры 9 связаны с дополнительными воронками 11, выполненными в полу 2 фундамента 1 и расположенными вдоль сквозных дополнительных каналов 7. По периметру фундамента 1 по обеим сторонам сквозного центрального канала 6 имеются аэрационные каналы 12, сверху которых установлены металлические решетки 13 (рис. 2).

Повышение производительности разгрузки цилиндрического бункера по сравнению с прототипом [8] достигается за счет следующих его конструктивных особенностей:

- выполнение в фундаменте ниже пола сквозных дополнительных каналов параллельно друг другу, которые пересекают сквозной центральный канал под прямым углом;
- установка в сквозных дополнительных каналах транспортеров, каждый из которых одним концом выходит за фундамент, а другим концом соединен с центральным транспортером, при условии, что установленные в сквозных дополнительных каналах транспортеры связаны с дополнительными воронками, выполненными в полу фундамента и расположенными вдоль сквозных дополнительных каналов [1, 12].

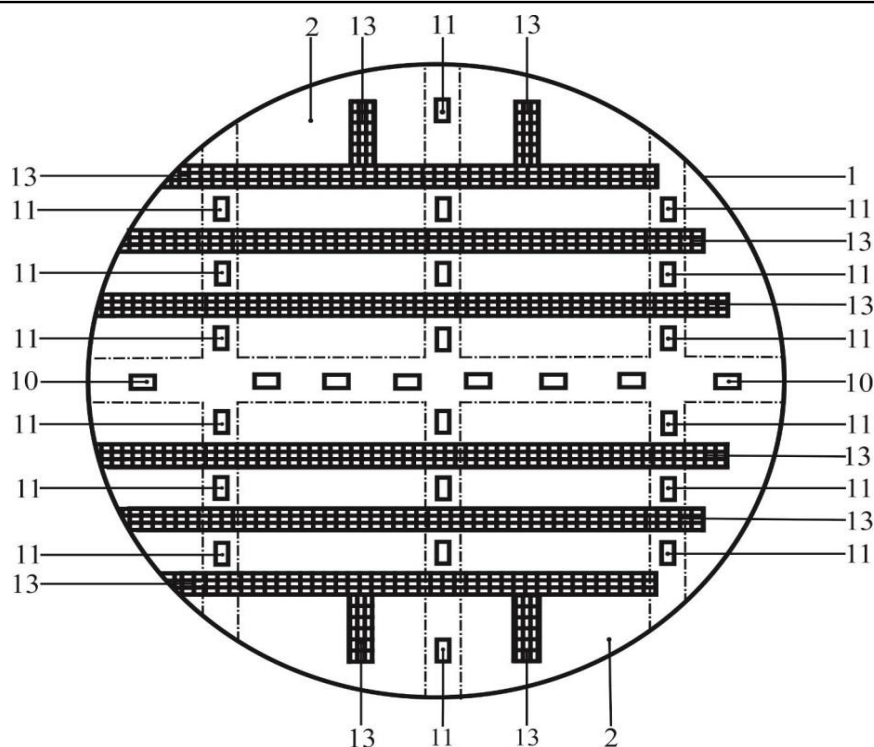


Рис. 2. Фундамент цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции: вид сверху

Наличие в фундаменте сквозных дополнительных каналов с транспортерами позволяет:

во-первых, обеспечивать равномерную разгрузку цилиндрического бункера по всей его площади с минимальными остатками сельскохозяйственной продукции на полу и работу установленных в дополнительных каналах транспортеров независимо друг от друга, тем самым создавать максимально возможную подачу продукции на каждый транспортер;

во-вторых, производить техническое обслуживание и ремонт транспортеров независимо от уровня заполнения бункера сельскохозяйственной продукцией, а при выходе из строя любого транспортера исключать экстренную остановку процесса.

Высокая производительность разгрузки цилиндрического бункера достигается не только за счет выполнения в фундаменте сквозных дополнительных каналов с транспортерами, но и обоснования рациональных параметров системы разгрузки бункера.

На основании вышеизложенного определена цель работы: обосновать параметры системы разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции.

Методика исследования

Система разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции включает в себя центральный транспортер 8, транспортеры 9, воронки 10 и дополнительные воронки 11, а также устройства управления, регулирующие подачу хранящейся продукции через воронки. На каждый транспортер 9 подается продукция через дополнительные воронки 11, выполненные в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала. В свою очередь, на центральный транспортер продукция подается не только транспортерами 9, но и через воронки 10, выполненные в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала, в котором установлен центральный транспортер 8.

Для обоснования параметров системы разгрузки цилиндрического бункера принимаем следующие условия:

$$\sum_{i=1}^{n_j} V_{двji} \leq \Pi_{Tj}; \quad \sum_{j=1}^m \Pi_{Tj} + \sum_{k=1}^z V_{Вk} \leq \Pi_{ЦТ}, \quad (1)$$

где $V_{двji}$ – пропускная способность (максимальная подача) i -й дополнительной воронки, расположенной в зоне действия j -го транспортера, т/ч;

n_j – количество дополнительных воронок, расположенных в зоне действия j -го транспортера;

Π_{Tj} – техническая производительность j -го транспортера, т/ч;

m – количество транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах;

$V_{Вk}$ – пропускная способность k -й воронки, расположенной в зоне действия центрального транспортера, т/ч;

z – количество воронок, расположенных в зоне действия центрального транспортера;

$\Pi_{ЦТ}$ – техническая производительность центрального транспортера, т/ч.

Так как воронки имеют прямоугольное сечение, то пропускная способность любой воронки V рассчитывается по формуле [2, 3]

$$V = 3600v_c \rho_c l_B b_B k_y^2, \quad (2)$$

где v_c – скорость истечения хранящейся продукции из воронки, м/с;

ρ_c – насыпная плотность хранящейся продукции, т/м³;

l_B – длина воронки при входе в транспортер, м;

b_B – ширина воронки при входе в транспортер, м;

k_y – коэффициент учета наибольшего размера типичных кусков.

Для разгрузки цилиндрического бункера в качестве центрального транспортера и транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах, могут выбираться ленточные, скребковые или винтовые транспортеры. Как показывает практика [13, 14, 16, 18, 21], в цилиндрических бункерах наиболее целесообразно использовать скребковые транспортеры, которые зарекомендовали себя с наилучшей стороны. Учитывая вышеприведенное, принимаем следующее допущение: центральный транспортер и дополнительные транспортеры являются скребковыми. При этом техническая производительность каждого отдельного скребкового транспортера Π определяется из следующей зависимости [2, 5, 7, 9]:

$$\Pi = 3600b_{ж} h_{ж} v_{дс} \rho_c \psi_{ж} \varphi_{ж}, \quad (3)$$

где $b_{ж}$ – ширина желоба транспортера, м;

$h_{ж}$ – высота желоба транспортера, м;

$v_{дс}$ – скорость движения скребков, м/с;

$\psi_{ж}$ – коэффициент заполнения желоба;

$\varphi_{ж}$ – коэффициент, учитывающий угол наклона транспортера.

Расчетные параметры всех воронок изначально устанавливаются в зависимости от требуемого времени истечения хранящейся продукции из воронки при полной загрузке цилиндрического бункера.

Для каждого транспортера, соединенного с n_j дополнительными воронками, параметры которых принимаются одинаковыми, с учетом неравенства (1) и выражений (2) и (3), должно выполняться следующее условие:

$$n_j v_C l_{\text{РДВ}} b_{\text{РДВ}} k_y^2 \leq b_{\text{РЖТ}} h_{\text{РЖТ}} v_{\text{ДС}} \psi_{\text{Ж}} \varphi_{\text{Ж}}, \quad (4)$$

где $l_{\text{РДВ}}$ – расчетная длина дополнительной воронки, м;

$b_{\text{РДВ}}$ – расчетная ширина дополнительной воронки, м;

$b_{\text{РЖТ}}$ – расчетная ширина желоба транспортера, м;

$h_{\text{РЖТ}}$ – расчетная высота желоба транспортера, м.

Для центрального транспортера, соединенного с m транспортерами и z воронками, параметры которых должны быть одинаковыми, с учетом неравенства (1) и выражений (2) и (3), должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{j=1}^m q_{\text{Tj}} + z v_C l_{\text{РВ}} b_{\text{РВ}} k_y^2 \leq b_{\text{ЖЦТ}} h_{\text{ЖЦТ}} v_{\text{ДСЦТ}} \psi_{\text{ЖЦТ}} \varphi_{\text{ЖЦТ}}; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m q_{\text{Tj}} = \frac{\sum_{j=1}^m \Pi_{\text{Tj}}}{3600 \rho_C}; \quad q_{\text{T}} = b_{\text{РЖТ}} h_{\text{РЖТ}} v_{\text{ДС}} \psi_{\text{Ж}} \varphi_{\text{Ж}},$$

где $l_{\text{РВ}}$ – расчетная длина воронки, м;

$b_{\text{РВ}}$ – расчетная ширина воронки, м;

$b_{\text{ЖЦТ}}$ – ширина желоба центрального транспортера, м;

$h_{\text{ЖЦТ}}$ – высота желоба центрального транспортера, м;

$v_{\text{ДСЦТ}}$ – скорость движения скребков центрального транспортера, м/с;

$\psi_{\text{ЖЦТ}}$ – коэффициент заполнения желоба центрального транспортера;

$\varphi_{\text{ЖЦТ}}$ – коэффициент, учитывающий угол наклона центрального транспортера;

q_{Tj} – подача j -го транспортера, расположенного в сквозном дополнительном канале, на центральный транспортер, м³/с.

Результаты и их обсуждение

В связи с тем что транспортеры, расположенные в сквозных дополнительных каналах, могут быть соединены либо с тремя, либо с четырьмя дополнительными воронками (рис. 1), обоснование параметров ($b_{\text{ФЖТ}}$ – фактическая ширина желоба скребкового транспортера, м; $h_{\text{ФЖТ}}$ – фактическая высота желоба скребкового транспортера, м; $l_{\text{ФДВ}}$ – фактическая длина дополнительной воронки, м; $b_{\text{ФДВ}}$ – фактическая ширина дополнительной воронки, м) для каждого из названных вариантов выполняется отдельно соответственно при $n_j = 3$ и $n_j = 4$.

Так как дополнительные воронки имеют изначальные расчетные показатели $l_{\text{РДВ}}$ и $b_{\text{РДВ}}$, причем показатель $b_{\text{РДВ}}$ регламентирует расчетное значение ширины желоба транспортера $b_{\text{РЖТ}}$, то $b_{\text{РЖТ}} = 1,1 b_{\text{РДВ}}$. Отсюда следует, что дальнейшее обоснование параметров желоба транспортера сводится к определению показателя $h_{\text{РЖТ}}$.

Для каждого транспортера, соединенного с n_j дополнительными воронками, расчетная высота желоба $h_{\text{РЖТ}}$ будет равна

$$h_{\text{РЖТ}} = \frac{n_j v_C l_{\text{РДВ}} b_{\text{РДВ}} k_y^2}{b_{\text{РЖТ}} v_{\text{ДС}} \psi_{\text{Ж}} \varphi_{\text{Ж}}} \quad (6)$$

Зная показатель $h_{\text{РЖТ}}$ при $n_j = 3$ или $n_j = 4$, можно рассчитать коэффициент отношения расчетной ширины желоба к его расчетной высоте:

$$k_{\text{ЖТ}} = \frac{b_{\text{РЖТ}}}{h_{\text{РЖТ}}} \quad (7)$$

Если $k_{\text{ЖТ}} = 2-4$ [5, 9], то параметры $b_{\text{РЖТ}}$ и $h_{\text{РЖТ}}$ желоба транспортера определены верно. На основании полученных данных подбирается скребковый транспортер с фактическими параметрами желоба $b_{\text{ФЖТ}}$ и $h_{\text{ФЖТ}}$, установленными производителем. Причем выбор скребкового транспортера осуществляется при условии, что $b_{\text{РЖТ}} \leq b_{\text{ФЖТ}}$ и $h_{\text{РЖТ}} \leq h_{\text{ФЖТ}}$. Также следует отметить, что в данном случае фактическая длина каждой дополнительной воронки при входе в транспортер $l_{\text{ФДВ}}$ будет равна ее расчетной длине $l_{\text{РДВ}}$, а фактическая ширина $b_{\text{ФДВ}}$ – расчетной ширине $b_{\text{РДВ}}$.

В случае, когда $k_{\text{ЖТ}} \neq 2-4$, определяется площадь поперечного сечения желоба транспортера:

$$F_{\text{ЖТ}} = h_{\text{РЖТ}} b_{\text{РЖТ}} \quad (8)$$

Из формулы (7) расчетная ширина желоба транспортера $b_{\text{РЖТ}} = k_{\text{ЖТ}} h_{\text{РЖТ}}$, тогда площадь поперечного сечения желоба транспортера составит

$$F_{\text{ЖТ}} = k_{\text{ЖТ}} h_{\text{РЖТ}}^2 \quad (9)$$

С учетом равенства (9) высота желоба транспортера будет равна

$$h_{\text{РЖТ}} = \sqrt{\frac{F_{\text{ЖТ}}}{k_{\text{ЖТ}}}} \quad (10)$$

Откорректированную ширину желоба $b_{\text{РЖТ}}$ получаем на основании расчета по формуле (8), при условии, что $h_{\text{РЖТ}}$ рассчитывается по формуле (10)

$$b_{\text{РЖТ}} = \frac{F_{\text{ЖТ}}}{h_{\text{РЖТ}}} \quad (11)$$

Зная расчетные значения $h_{\text{РЖТ}}$ и $b_{\text{РЖТ}}$, определенные соответственно по формулам (10) и (11), выполняем подбор скребкового транспортера с фактической шириной $b_{\text{ФЖТ}}$ и фактической высотой $h_{\text{ФЖТ}}$, установленными производителем. Выбор скребкового транспортера осуществляется при условии, что $b_{\text{РЖТ}} \leq b_{\text{ФЖТ}}$ и $h_{\text{РЖТ}} \leq h_{\text{ФЖТ}}$. После выбора скребкового транспортера с установленными показателями $b_{\text{ФЖТ}}$ и $h_{\text{ФЖТ}}$ необходимо сравнить расчетную ширину дополнительной воронки при входе в транспортер $b_{\text{РДВ}}$ с фактической шириной желоба транспортера $b_{\text{ФЖТ}}$. Если $b_{\text{ФЖТ}} \geq 1,1 b_{\text{РДВ}}$, то $b_{\text{ФДВ}} = b_{\text{РДВ}}$, $l_{\text{ФДВ}} = l_{\text{РДВ}}$. В противном случае необходимо выполнить корректировки расчетной длины $l_{\text{РДВ}}$ и расчетной ширины $b_{\text{РДВ}}$ каждой дополнительной воронки. Площадь поперечного сечения дополнительной воронки рассчитывается по следующей формуле:

$$F_{\text{ДВ}} = b_{\text{РДВ}} l_{\text{РДВ}} \quad (12)$$

С учетом условия $b_{\text{ФЖТ}} \geq 1,1 b_{\text{РДВ}}$ ширина дополнительной воронки будет равна

$$b_{\text{РДВ}} = \frac{b_{\text{ФЖТ}}}{1,1} \quad (13)$$

Из равенств (12) и (13) откорректированная длина дополнительной воронки составит

$$l_{\text{РДВ}} = \frac{F_{\text{ДВ}}}{b_{\text{РДВ}}}. \quad (14)$$

На основании откорректированных значений получаем $b_{\text{ФДВ}} = b_{\text{РДВ}}$, $l_{\text{ФДВ}} = l_{\text{РДВ}}$.

Подача скребкового транспортера на центральный транспортер определяется по фактическим значениям ширины и высоты желоба $q_{\text{T}} = b_{\text{ФЖТ}} h_{\text{ФЖТ}} v_{\text{ДС}} \psi_{\text{Ж}} \varphi_{\text{Ж}}$. Зная параметры подач транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах, можно найти сумму этих подач $\sum_{j=1}^m q_{\text{Tj}}$, которая необходима для обоснования параметров центрального транспортера.

Учитывая уже известные расчетные параметры воронки $l_{\text{РВ}}$ и $b_{\text{РВ}}$, а также расчетную ширину желоба $b_{\text{РЖЦТ}} = 1,1b_{\text{РВ}}$, определяем расчетную высоту желоба для центрального транспортера по следующей формуле:

$$h_{\text{РЖЦТ}} = \frac{\sum_{j=1}^m q_{\text{Tj}} + z v_{\text{С}} l_{\text{РВ}} b_{\text{РВ}} k_{\text{У}}^2}{b_{\text{РЖЦТ}} v_{\text{ДСЦТ}} \psi_{\text{ЖЦТ}} \varphi_{\text{ЖЦТ}}}. \quad (15)$$

Далее, используя формулы (7) – (14), по вышеизложенной методике определяем такие параметры, как:

- $b_{\text{ФЖЦТ}}$ – фактическая ширина желоба центрального скребкового транспортера, м;
- $h_{\text{ФЖЦТ}}$ – фактическая высота желоба центрального скребкового транспортера, м;
- $l_{\text{ФВ}}$ – фактическая длина воронки, м;
- $b_{\text{ФВ}}$ – фактическая ширина воронки, м.

Техническую производительность центрального скребкового транспортера (производительность системы разгрузки бункера) определяем по формуле (3), учитывая фактические значения ширины $b_{\text{Ж}} = b_{\text{ФЖЦТ}}$ и высоты желоба $h_{\text{Ж}} = h_{\text{ФЖЦТ}}$.

Выводы

1. Повышение производительности разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции достигается, в частности, за счет:

- выполнения в фундаменте, ниже пола, сквозных параллельных друг другу дополнительных каналов, пересекающих сквозной центральный канал под прямым углом;
- размещения в сквозных дополнительных каналах транспортеров, каждый из которых одним концом выходит за фундамент, а другим концом соединен с центральным транспортером, при условии, что транспортеры в сквозных дополнительных каналах связаны с дополнительными воронками, выполненными в полу фундамента вдоль сквозных дополнительных каналов;
- обоснования рациональных параметров системы разгрузки бункера.

2. Предложенная методика обоснования параметров системы разгрузки бункера позволяет определить фактические ширину и высоту желобов скребковых транспортеров, используемых для выгрузки сельскохозяйственной продукции из бункера, при этом расчетные параметры всех воронок изначально подбираются в зависимости от требуемого времени истечения продукции из воронки при полной загрузке цилиндрического бункера.

3. Предложенная методика обоснования параметров системы разгрузки бункера основана на том, что фактические ширина и высота желобов скребковых транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах, определяются из условия равенства технической производительности транспортера суммарной пропускной способности дополнительных воронок, связанных с данным транспортером, а фактические ширина и высота желобов скребкового центрального транспортера – из условия равенства технической производительности центрального транспортера сумме технических производительностей транспортеров, расположенных в сквозных дополнительных каналах, и суммарной пропускной способности воронок, связанных с центральным транспортером.

Список источников

1. 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. DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-37-46.
2. Дьячков В.К. Машины непрерывного транспорта: учебное пособие для вузов. Москва: Машгиз, 1961. 352 с.
3. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1987. 432 с.
4. Зимняков В.М., Сергеев А.Ю. Сооружения и оборудование для хранения сельскохозяйственной продукции: учебное пособие. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 207 с.
5. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: Вышэйшая школа, 1983. 350 с.
6. Малин Н.И. Технология хранения зерна: учебник для студентов вузов. Москва: Колос, 2005. 280 с.
7. Моргачев В.Л. Подъемно-транспортные машины: учебник. Москва: Машиностроение, 1964. 345 с.
8. Система разгрузки цилиндрического бункера: пат. 2570189 Рос. Федерация. № 2013103427/11; заявл. 17.06.2011; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34. 18 с.
9. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учебное пособие. 3-е изд. перераб. Москва: Машиностроение, 1983. 487 с.
10. Тарасенко А.П., Баскаков И.В., Чернышов А.В. и др. Современные технологии хранения зерна в хозяйствах: учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2014. 135 с.
11. Федоренко В.Ф., Гольяпин В.Я. Перспективные технологии послеуборочной обработки и хранения зерна: научный аналитический обзор. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 200 с.
12. Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции: пат. 2799277 Рос. Федерация. № 2023110466; заявл. 24.04.2023; опубл. 04.07.2023, Бюл. № 19. 10 с.
13. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. Москва.: Дели принт, 2009. 718 с.
14. Bala B.K. Drying and storage of cereal grains: 2nd edition. United Kingdom, Wiley Blackwell, 2017. 336 p.
15. Boumans G. Grain handling and storage. Amsterdam etc.: Elsevier, 1985. 436 p.
16. Fayed M.E., Skocir Th.S. Mechanical conveyors: selection and operation. USA: Technomic Publishing Company, 1996. 485 p.
17. Ghali A. Circular storage tanks and silos. New York: SRC Press, 2000. 455 p.
18. McGuire P.M. Conveyors: application, selection and integration. CRC Press, 2009. 194 p.
19. Pat. US 2006/018739 A1. Agricultural silo auger system apparatus and method / Lambert C.F.; Appl. No.: 10/854,230; filed: 27.05.2004; published 26.01.2006. 12 p.
20. Pat. US 2020/223649 A1. Sweep conveyor assembly for use in a silo or granary / Forsberg G. Appl. No.: 16/626,967; filed: 27.12.2019; published 16.07.2020. 31 p.
21. Silva F.A.N., Horowitz B., Delgado J.M.P.Q. et al. Design of reinforced concrete silo. 1st edition. Springer International Publishing, 2019. 93 p.

References

1. Vasiliev V.V., Afonicheva D.D., Aksenov I.I. Advanced cylindrical bin for agricultural products storage. *Science in the Central Russia*. 2023;64(4):37-46. DOI: 10.35887/2305-2538. (In Russ.).
2. Diyachkov V.K. Steam-flow transportation machinery: study guide. Moscow: Mashgiz Publishers; 1961. 352 p. (In Russ.).
3. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. Steam-flow transportation machinery: textbook. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 1987. 432 p. (In Russ.).
4. Zimnyakov V.M., Sergeev A.Yu. Facilities and equipment for agricultural products storage: study guide. Penza: Penza State Agricultural Academy Publishers; 2015. 207 p. (In Russ.).
5. Kuzmin A.V., Maron F.L. Reference book on mechanical lifting and transport equipment. 2nd edition, revised and enlarged. Minsk: Vysshaya Shkola Publishers; 1983. 350 p. (In Russ.).
6. Malin N.I. Grain storage technique: textbook for university students. Moscow: Kolos Publishers; 2005. 280 p. (In Russ.).
7. Morgachev V.L. Lifting and shifting machinery: textbook. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 1964. 345 p. (In Russ.).
8. Cylinder silo bin unloading system: Pat. 2570189 Russian Federation. No. 2013103427/11; claimed 17.06.2011; published 10.12.2015, Bulletin 34. 18 p. (In Russ.).
9. Spivakovskiy A.O., Diyachkov V.K. Transportation machinery: study guide. 3rd edition, revised and enlarged. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 1983. 487 p. (In Russ.).
10. Tarasenko A.P., Baskakov I.V., Chernyshov A.V. et al. Modern technologies of grain storage in agricultural enterprises: study guide. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Publishers; 2014. 135 p. (In Russ.).
11. Fedorenko V.F., Golytyapin V.Ya. Future-oriented technologies for grain post-harvest treatment and storage: scientific & analytical review. Moscow: Rosinformagrotech Publishers; 2017. 200 p. (In Russ.).
12. Cylindrical silo bin for agricultural products storage: Pat. 2799277 Russian Federation. No. 2023110466; claimed 24.04.2023; published 04.07.2023, Bulletin 19. 10 p. (In Russ.).
13. Yukish A.E., Il'ina O.A. Technique and technology for grain storage. Moscow: DeLi print Publishers; 2009. 718 p. (In Russ.).
14. Bala B.K. Drying and storage of cereal grains: 2nd edition. United Kingdom, Wiley Blackwell; 2017. 336 p.
15. Boumans G. Grain handling and storage. Amsterdam etc.: Elsevier; 1985. 436 p.
16. Fayed M.E., Skocir Th.S. Mechanical conveyors: selection and operation. USA: Technomic Publishing Company; 1996. 485 p.
17. Ghali A. Circular storage tanks and silos. New York: SRC Press, 2000. 455 p.
18. McGuire P.M. Conveyors: application, selection and integration. CRC Press, 2009. 194 p.
19. Pat. US 2006/018739 A1. Agricultural silo auger system apparatus and method / Lambert C.F.; Appl. No.: 10/854,230; filed: 27.05.2004; published 26.01.2006. 12 p.
20. Pat. US 2020/223649 A1. Sweep conveyor assembly for use in a silo or granary / Forsberg G. Appl. No.: 16/626,967; filed: 27.12.2019; published 16.07.2020. 31 p.
21. Silva F.A.N., Horowitz B., Delgado J.M.P.Q. et al. Design of reinforced concrete silo. 1st edition. Springer International Publishing; 2019. 93 p.

Информация об авторах

В.В. Васильев – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», vasiliev.vladimir87@mail.ru.

Д.Д. Афоничева – обучающийся факультета технологии и товароведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», daria.afonicheva@yandex.ru.

И.И. Аксенов – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», igor-aksenov1989@ya.ru.

Information about the authors

V.V. Vasiliev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vasiliev.vladimir87@mail.ru.

D.D. Afonicheva, Student of the Faculty of Technology and Commodity Science, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, daria.afonicheva@yandex.ru.

I.I. Aksenov, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, igor-aksenov1989@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 16.05.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 23.06.2024.

The article was submitted 16.05.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 23.06.2024.

© Васильев В.В., Афоничева Д.Д., Аксенов И.И., 2024