Научная статья
УДК 631.3
doi:10.35694/YARCX.2022.60.4.012

ВЫГРУЗКА ЗЕРНА ИЗ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ РОТОРНОЙ СУШИЛКИ

Владимир Анатольевич Николаев
Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия
nikolaev53@inbox.ru

Реферат. Большие финансовые затраты на сушку обусловлены как дороговизной сушильно-сортировальных комплексов, так и ограниченным периодом их эксплуатации в течение года. Чтобы использовать сушилку в течение всего года, она должна быть универсальной, то есть качественно сушить без существенной переналадки все материалы и изделия сельскохозяйственного и подсобного производства. Так как конструкция предлагаемой полуавтоматической универсальной роторной сушилки имеет существенные отличия от сушилок, используемых в настоящее время, необходима разработка теории выгрузки зерна из неё. В результате анализа воздействия зерна на выгрузной транспортёр полуавтоматической роторной сушилки выявлен общий вращающий момент, необходимый для привода транспортёра выгрузки.

Ключевые слова: *универсальная полуавтоматическая роторная сушилка, зерно, транспортёр выгрузки, затраты энергии, вращающий момент*

GRAIN UNLOADING FROM UNIVERSAL SEMI-AUTOMATIC ROTARY DRYER

Vladimir A. Nikolaev
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
nikolaev53@inbox.ru

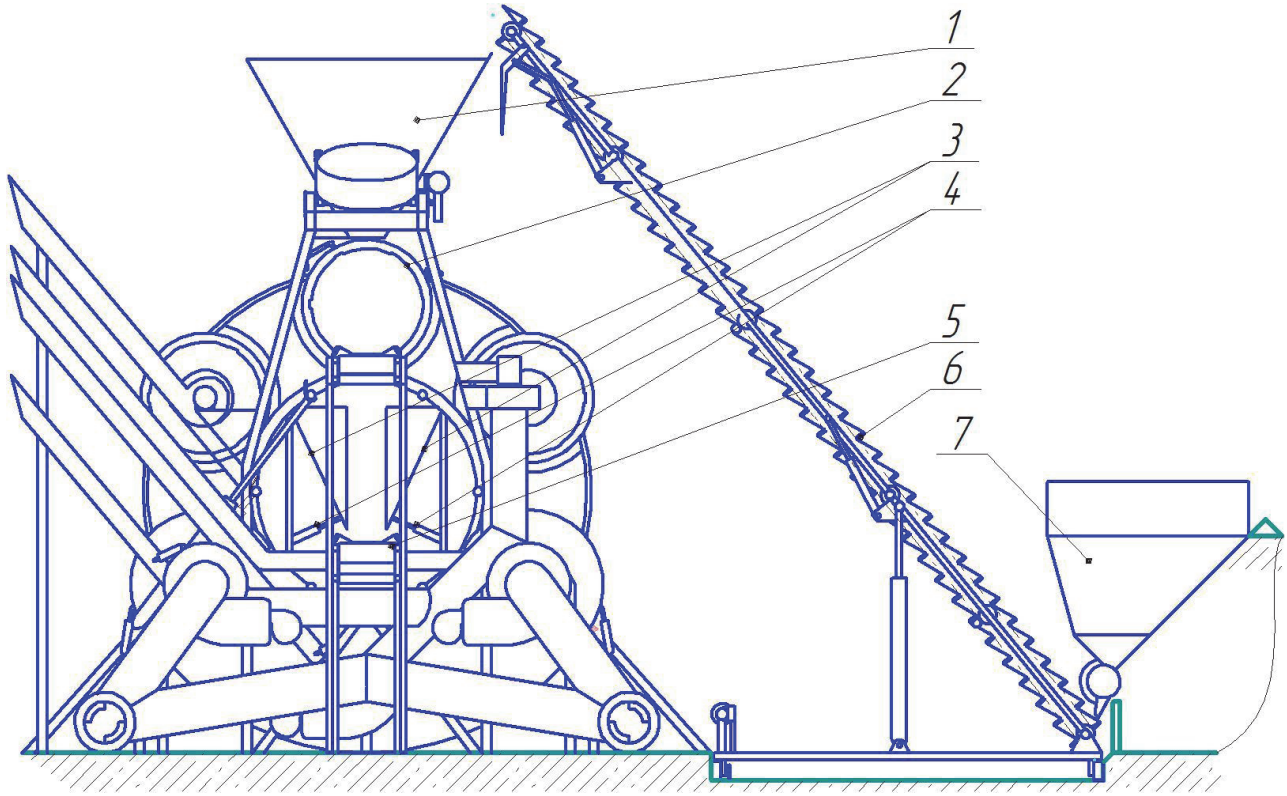
Abstract. Large financial costs for drying are due to both the high cost of drying and sorting complexes, and the limited period of their operation during the year. In order to use the dryer throughout the year it must be universal, that is, it must dry reliably all materials and products of agricultural and subsidiary production without significant readjustment. Since the design of the proposed semi-automatic universal rotary dryer has significant differences from the dryers currently in use, it is necessary to develop a theory for unloading grain from it. As a result of the analysis of the grain effect on the unloading conveyor of the semi-automatic rotary dryer, the total torque required to drive the unloading conveyor was revealed.

Keywords: *universal semi-automatic rotary dryer, grain, unloading conveyor, energy consumption, torque*

Введение. Основной причиной высоких финансовых затрат на производство зерна в Нечернозёмной зоне Российской Федерации являются большие затраты энергии на его сушку. Для качественной энергосберегающей сушки сельскохозяйственных материалов, в частности зерна, предложена полуавтоматическая универсальная роторная сушилка [1]. На рисунке 1 показана схема полуавтоматической универсальной роторной сушилки, вид спереди, на рисунке 2 – вид слева, на рисунке 3 – вид сверху.

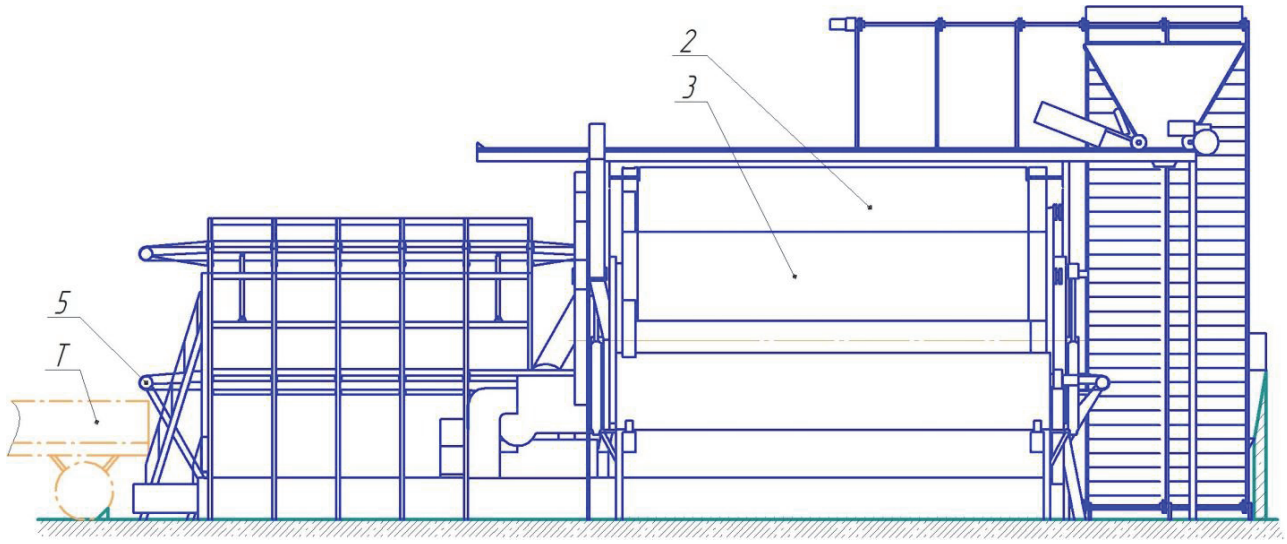
Загрузку и выгрузку зерна производят в момент, когда внешний цилиндр 2 расположен вверху. Основные элементы, участвующие в загрузке зерна в полуавтоматическую универсальную роторную сушилку из транспортного средства с сырым зерном «*С*»: нижний бункер 7, загрузочный конвейер 6 и верхний бункер. Расчёт загрузки зерном полуавтоматической универсальной роторной сушилки рассмотрен [2].

При выгрузке открывают крышку внешнего цилиндра, и высушенное зерно скользит по щитам 3 на транспортёр выгрузки 5, который подаёт зерно в транспортное средство «*Т*». Гидроцилиндры управления щитами 4 определяют положение щитов. Во время выгрузки зерна щиты максимально сомкнуты для ограничения темпа выгрузки и равномерного заполнения транспортёра выгрузки.



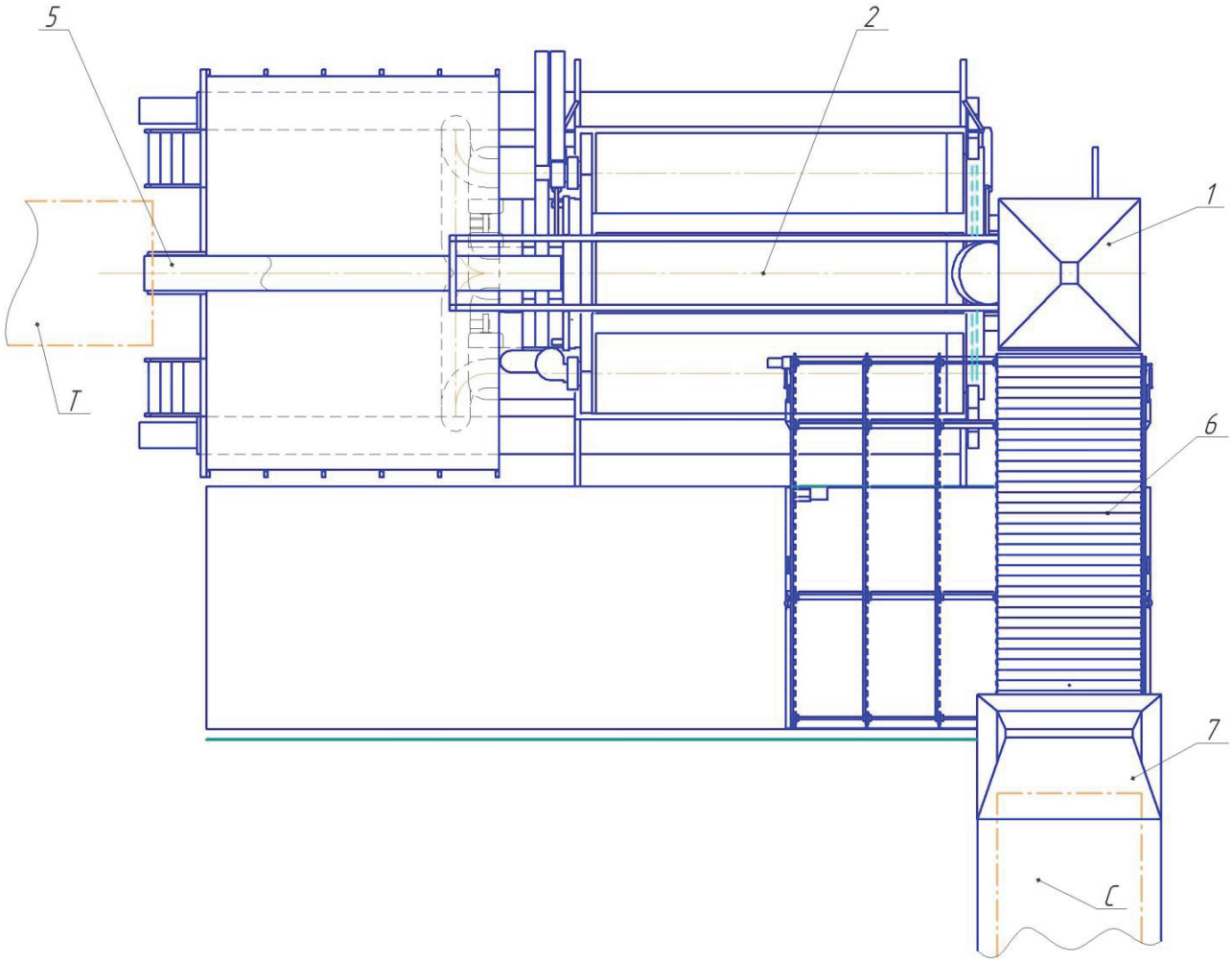
1 – верхний бункер; 2 – внешний цилиндр; 3 – щит; 4 – гидроцилиндр управления щитом;
5 – транспортёр выгрузки; 6 – загрузочный конвейер; 7 – нижний бункер.

Рисунок 1 – Схема полуавтоматической универсальной роторной сушилки, вид спереди
(нумерация позиций общая в рисунках 1, 2, 3)



Т – транспортное средство для высушенного зерна.

Рисунок 2 – Схема полуавтоматической универсальной роторной сушилки, вид слева



С – транспортное средство с сырым зерном; *Т* – транспортное средство для высушенного зерна.

Рисунок 3 – Схема полуавтоматической универсальной роторной сушилки, вид сверху

Теорию сушки и конструкции сушилок сельскохозяйственного назначения разрабатывали, в частности, авторы [3; 4; 5; 6]. Однако конструкция предлагаемой полуавтоматической универсальной роторной сушилки имеет существенные отличия от сушилок, используемых в настоящее время. Поэтому необходима разработка теории выгрузки зерна из неё.

Методика. Габариты транспортёра выгрузки получаются из конструктивной компоновки сушилки. Разрез транспортёра выгрузки показан на рисунке 4.

Допустим, зерно располагается на верхней рабочей ветви транспортёра выгрузки под углом естественного откоса 30°. Тогда из рисунка площадь сечения зернового слоя на транспортёре выгрузки $S = 82500\ мм^2 = 0{,}0825\ м^2$. Чтобы не было потерь зерна при его выгрузке из внешнего цилиндра, примем площадь сечения зернового слоя на транспортёре выгрузки $S = 0{,}06\ м^2$.

Чем больше скорость ленты транспортёра выгрузки, тем выше темп выгрузки, но и больше затраты энергии на её осуществление. Примем скорость ленты транспортёра выгрузки $v_{т\,в} = 5\ м/с$. Тогда в секунду транспортёр выгрузки переместит зерно объёмом

$$V_{т\,в} = Sv_{т\,в};\ V_{т\,в} = 0{,}06 \cdot 5 = 0{,}3\ м^3/с. \quad (1)$$

Так как объём зерна между внешним цилиндром и внутренним цилиндром [1] $V_з = 6{,}74\ м^3$, время выгрузки зерна на транспортёр выгрузки:

$$\tau_{т\,в} = \frac{V_з}{V_{т\,в}};\ \tau_{т\,в} = \frac{6{,}74}{0{,}3} \approx 22{,}5\ с. \quad (2)$$

Из конструктивной компоновки радиус ведущего барабана транспортёра выгрузки $r_{т\,в} = 0{,}1\ м$. Поэтому его угловая скорость:

$$\omega_{т\,в} = \frac{v_{т\,в}}{r_{т\,в}};\ \omega_{т\,в} = \frac{5}{0{,}1} = 50\ рад/с. \quad (3)$$

Вращающий момент, необходимый для перемещения ленты транспортёра выгрузки, содержит составляющие: момент для ускорения зерна, момент для его перемещения от места загрузки

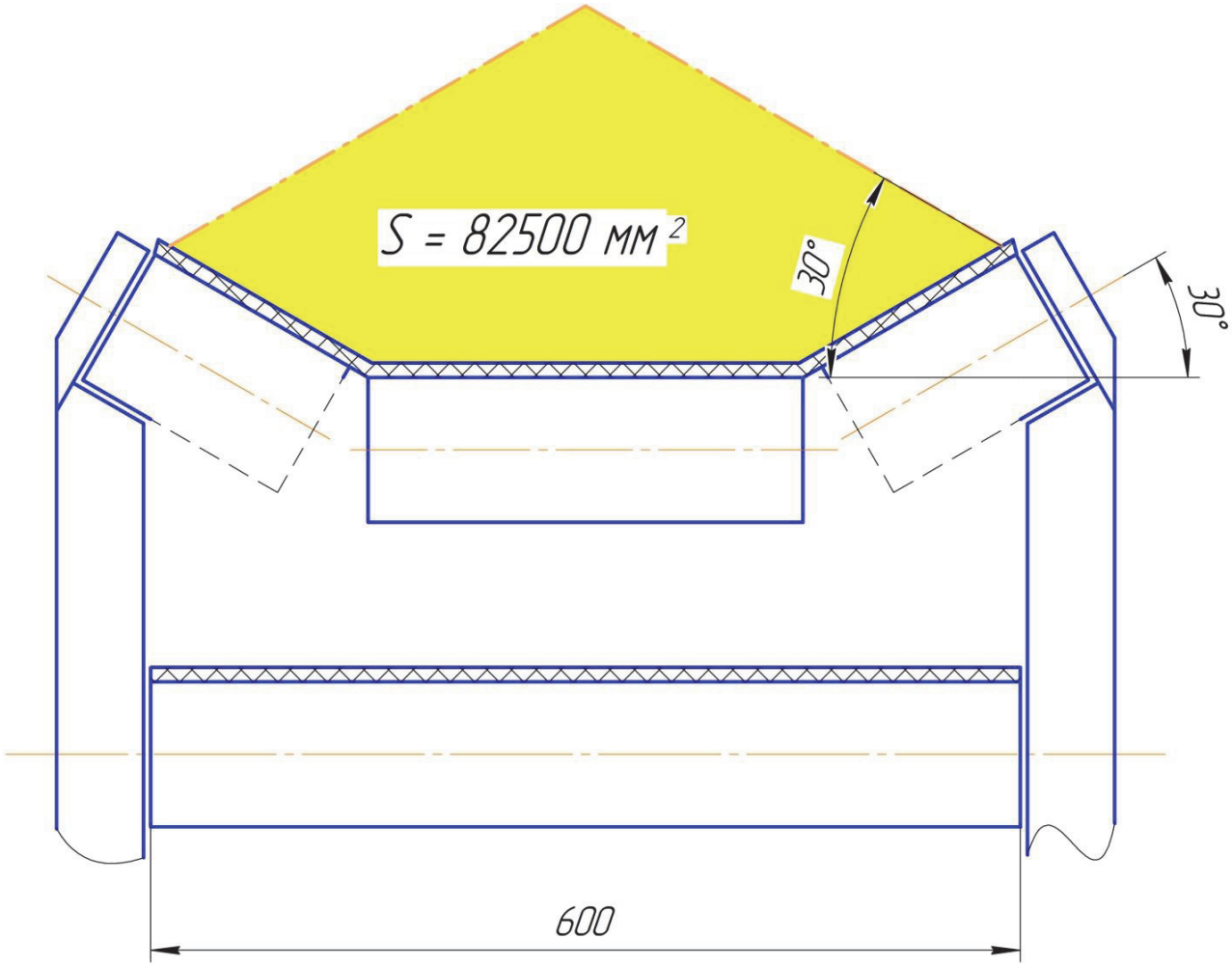


Рисунок 4 – Разрез транспортёра выгрузки

до места выгрузки, момент для преодоления сил трения в элементах транспортёра выгрузки. Зерно падает вертикально, а направление движения рабочей ветви строго горизонтальное. Поэтому начальная горизонтальная скорость зерна равна нулю. Конечная скорость зерна равна скорости ленты транспортёра выгрузки, $v_{т\,в} = 5\ м/с$. Время ускорения зерна в горизонтальном направлении зависит от силы трения между зерновками и силы трения между нижним слоем зерновок и лентой транспортёра выгрузки.

Момент для ускорения зерна обусловлен силой его инерции. Допустим, зерновка является абсолютно неупругой и после падения контактирует только с лентой транспортёра выгрузки. Сила трения между зерновкой и лентой транспортёра будет движущей силой. Сила инерции препятствует движению зерновки совместно с лентой транспортёра выгрузки. Движение зерновки совместно с лентой транспортёра начнётся тогда, когда сила трения превысит силу инерции зерновки: $F_{т\,з-т} \geq F_{j\,з}$. Рассмотрим момент, когда эти силы будут равны: $F_{т\,з-т} = F_{j\,з}$. Или

$$f g m_з = a_{т\,з} m_з \rightarrow f_{з-р} g = a_{т\,з} = \frac{v_{т\,в}}{\tau_{т\,з}}. \quad (4)$$

Отсюда время ускорения зерновки после касания поверхности ленты транспортёра выгрузки

$$\tau_{т\,з} = \frac{v_{т\,в}}{f_{з-р} g}, \quad (5)$$

где $v_{т\,в}$ – скорость ленты транспортёра выгрузки; g – ускорение свободного падения; $f_{з-р}$ – коэффициент трения зерновка – резина, $f_{з-р} \approx 0{,}3$.

$$\tau_{т\,з} = \frac{5}{0{,}3 \cdot 9{,}8} = 1{,}7\ с.$$

В течение этого времени зерновка будет скользить по ленте транспортёра выгрузки, пока их скорости не сравняются. Ускорение зерновки после касания поверхности ленты транспортёра выгрузки (4):

$$a_{т\,з} = \frac{5}{1{,}7} = 2{,}94\ м/с^2.$$

Примем объёмную массу высушенной пшеницы $\rho_{с\,п} = 750\ кг/м^3$, объёмную массу ржи $\rho_{с\,р} = 680\ кг/м^3$, объёмную массу ячменя $\rho_{с\,я} = 600\ кг/м^3$, объёмную массу овса $\rho_{с\,о} = 450\ кг/м^3$. Высушенное зерно поступает на ленту транспортёра выгрузки потоком. Условно заменим непрерывный поток зерна на дискретные

ежесекундные порции. Масса высушенной пшеницы, поступающая на транспортёр выгрузки в секунду:

$$m_{с\,п} = V_{т\,в}\rho_{с\,п};\ m_{с\,п} = 0{,}3 \cdot 750 = 225\ кг. \quad (6)$$

Сила её инерции:

$$F_{j\ з\,п} = a_{т\,з}\, m_{с\,п};\ F_{j\ з\,п} = 2{,}94 \cdot 225 \approx 662\ Н. \quad (7)$$

Момент для перемещения зерна от места его падения на транспортёр выгрузки до места выгрузки обусловлен силой, необходимой для перемещения ленты транспортёра выгрузки совместно с зерном. Допустим, зерно перемещается рабочей ветвью ленты равномерно. Сила, необходимая для перемещения ленты транспортёра выгрузки совместно с зерном, зависит от массы $m_{з\,т\,в}$ зерна на ленте и коэффициента $f_{л-р}$ трения качения ленты по роликам:

$$F_{з\,т\,в} = f_{л-р} g m_{з\,т\,в}. \quad (8)$$

Площадь сечения слоя зерна на ленте принята $S = 0{,}06\ м^2$. Длина части рабочей ветви транспортёра выгрузки, на которой расположено зерно, $l_{т\,в} = 13{,}8\ м$ из конструктивной компоновки. Объём слоя зерна на ленте транспортёра выгрузки:

$$V_{з\,т\,в} = S l_{т\,в};\ V_{з\,т\,в} = 0{,}06 \cdot 13{,}8 = 0{,}828\ м^3.$$

Масса высушенной пшеницы, расположенная на рабочей ветви транспортёра выгрузки:

$$m_{з\,т\,в} = V_{з\,т\,в}\rho_{с\,п};\ m_{з\,т\,в} = 0{,}828 \cdot 750 = 621\ кг. \quad (9)$$

Примем коэффициент трения качения ленты по роликам $f_{л-р} = 0{,}1$. Сила, необходимая для перемещения ленты транспортёра выгрузки совместно с зерном (8), $F_{з\,т\,в} = 0{,}1 \cdot 9{,}8 \cdot 621 = 608\ Н$.

Суммарная сила сопротивления перемещению зерна рабочей ветвью транспортёра выгрузки:

$$F_{\Sigma\,з\,т\,в} = F_{j\ з\,п} + F_{з\,т\,в}; \quad (10)$$

$$F_{\Sigma\,з\,т\,в} = 662 + 608 = 1270\ Н.$$

Так как радиус ведущего барабана транспортёра выгрузки $r_{т\,в} = 0{,}1\ м$, вращающий момент, необходимый для преодоления суммарной силы сопротивления перемещению зерна рабочей ветвью транспортёра выгрузки:

$$M_{з\,т\,в} = F_{\Sigma\,з\,т\,в} r_{т\,в};$$

$$M_{з\,т\,в} = 1270 \cdot 0{,}1 = 127\ Нм. \quad (11)$$

Вращающий момент, необходимый для преодоления сил трения в подвижных элементах транспортёра выгрузки, можно определить только экспериментальным путём. Для расчёта ленточного транспортёра примем его равным 10% от момента, необходимого для преодоления силы сопротивления перемещению зерна рабочей ветвью транспортёра выгрузки пшеницы, то есть $13\ Нм$. Общий вращающий момент, необходимый для привода транспортёра выгрузки при выгрузке пшеницы:

$$M_{т\,в} = M_{з\,т\,в} + 0{,}1 M_{з\,т\,в};$$

$$M_{т\,в} = 127 + 13 = 140\ Нм. \quad (12)$$

Вращающий момент, необходимый для выгрузки ржи, ячменя, овса меньше, поскольку меньше их объёмные массы.

Вывод. В результате анализа воздействия зерна на выгрузной транспортёр полуавтоматической роторной сушилки выявлен общий вращающий момент, необходимый для привода транспортёра выгрузки.

Список источников

1. Пат. 2631586 Российская Федерация, МПК F26B 15/04 (2006.01) F26B 20/00 (2006.01). Полуавтоматическая роторная сушилка / Николаев В. А., Ключников А. С. ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия». № 2016123868; заявл. 15.06.2016; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 27. 2 с.

2. Николаев В. А. Расчёт загрузки зерна элементами универсальной полуавтоматической роторной сушилки // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 3 (59). С. 88–94. DOI: 10.35694/YARCX.2022.59.3.012.

3. Атаназевич В. И. Сушка зерна. М. : Агропромиздат, 1989. 240 с.

4. Муштаев В. И., Ульянов В. М. Сушка дисперсных материалов : монография. М. : Химия, 1988. 352 с. ISBN: 5-7245-0074-4.

5. Муштаев В. И., Ульянов В. М., Тимонин А. С. Сушка в условиях пневмотранспорта : монография. М. : Химия, 1984. 232 с.

6. Баум А. Е., Резчиков В. А. Сушка зерна : монография. М. : Колос, 1983. 223 с.

References

1. Pat. 2631586 Rossijskaja Federacija, MPK F26B 15/04 (2006.01) F26B 20/00 (2006.01). Poluavtomaticheskaja rotornaja sushilka / Nikolaev V. A., Klyuchnikov A. S. ; patentoobladatel' FGBOU VO «Jaroslavskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija». № 2016123868; zajavl. 15.06.2016; opubl. 25.09.2017, Bjul. № 27. 2 s.
2. Nikolaev V. A. Raschjot zagruzki zerna jelementami universal'noj poluavtomaticheskoj rotornoj sushilki // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. 2022. № 3 (59). S. 88–94. DOI: 10.35694/YARCX.2022.59.3.012.
3. Atanazevich V. I. Sushka zerna. M. : Agropromizdat, 1989. 240 s.
4. Mushtaev V. I., Ul'yanov V. M. Sushka dispersnyh materialov : monografija. M. : Himija, 1988. 352 s. ISBN: 5-7245-0074-4.
5. Mushtaev V. I., Ul'yanov V. M., Timonin A. S. Sushka v uslovijah pnevmotransporta : monografija. M. : Himija, 1984. 232 s.
6. Baum A. E., Rezchikov V. A. Sushka zerna : monografija. M. : Kolos, 1983. 223 s.

Сведения об авторе

Владимир Анатольевич Николаев – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных и дорожных машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», spin-код: 8865-0397.

Information about the author

Vladimir A. Nikolaev – Doctor of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Construction and Road Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Technical University", spin-code: 8865-0397.

Официальный сайт
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА:

www.yaragrovuz.ru

РУБРИКИ САЙТА:

Сведения об образовательной организации –
– Агросоветник – Образование – Абитуриенту –
– Наука и международная деятельность
(в том числе научный журнал «Вестник АПК Верхневолжья») –
– Дополнительное образование – Факультеты

Все выпуски журнала «Вестник АПК Верхневолжья» в полнотекстовом формате,
требования к оформлению рукописей, контакты на страничке:
http://yaragrovuz.ru/index.php/nauka-i-mezhdunarodnaya-deyatelnost/zhurnal-vestnik-apk-vekhnevolzhya