

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/41TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/41TVN515>)

УДК 631.354.024/.028

Скудина Александра Александровна

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, г. Ростов-на-Дону¹

Старший преподаватель

E-mail: Aspirant-2004@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=774517

Богомягких Владимир Алексеевич

ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет»

Азово-Черноморский инженерный институт

Россия, г. Зерноград

Профессор

Доктор технических наук

О щелевом бункере максимального расхода зернового материала

¹ 344049, г. Ростов-на-Дону, ул. Еременко 101, кв. 432

Аннотация. Повышение производительности машин, установок и технологических линий всевозможных производственных комплексов вообще и сельскохозяйственных, в частности, во многом зависит от пропускной способности бункеров, которые, зачастую, функционируют не только как транспортирующие рабочие органы, но и как дозирующие устройства, снабженные системами автоматизированного управления и дифференцированного регулирования в достаточно широком диапазоне секундных объемов сыпучего материала и их равномерного распределения по площади выпускного отверстия бункера. В этом аспекте исследований как в России, так и за рубежом весьма недостаточно. В связи с изложенным, существует социальная проблема разрешения противоречия между уровнем потребности в необходимости решения этой задачи и уровнем научных знаний для ее решения и практической реализации результатов в сельскохозяйственном производстве.

В статье приводятся результаты аналитического решения модели зернового материала, включающей допущения Л.В. Гячева, В.А. Богомягих, получены зависимости определяющие форму образующей стенок конических и щелевых бункеров наибольшего расхода, а также расходы зерновых материалов из этих бункеров. Вид образующих стен этих бункеров аналогичен граничным линиям скольжения потоков зерновых материалов при их нормальном истечении из названных бункеров.

Ключевые слова: щелевые бункера максимального расхода; зерновой материал; образующая стенка бункера; модель зернового материала; форма щелевого бункера максимального расхода; плотность дискретных частиц; форма продольного сечения бункера; сводчатые структуры.

Ссылка для цитирования этой статьи:

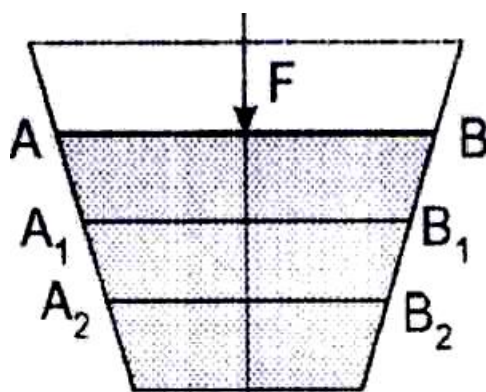
Скудина А.А., Богомягих В.А. О щелевом бункере максимального расхода зернового материала // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/41TVN515

В общем случае по форме бункеры бывают коническими, пирамидальными, цилиндрическими и составными.

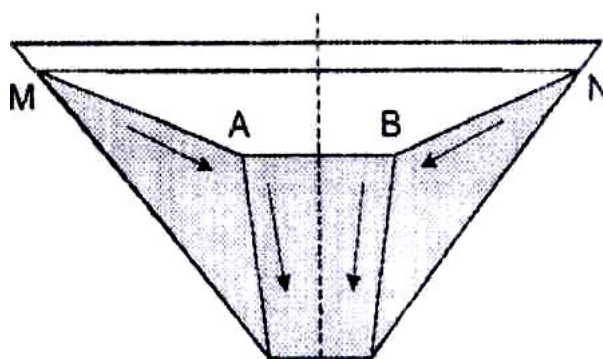
Форма бункера обусловлена производственной необходимостью или конструкцией машины (установки), на которой он устанавливается. [1, 2]

Также форма и конструктивные параметры бункера выбираются в соответствии с тем видом движения в нем сыпучих тел, который обусловлен производственной необходимостью с точки зрения техники безопасности и технико-экономической целесообразности. [3]

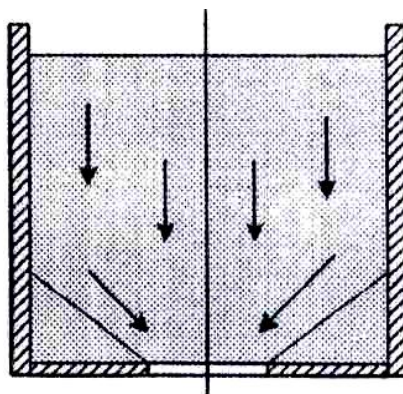
Движение сыпучих тел в полостях бункеров может быть гидравлическим, нормальным и смешанным (рисунок 1).



а) схема гидравлического движения зернового тела в бункере



б) схема нормального движения зернового тела в бункере



в) схема смешанного движения зернового тела в бункере

Рис. 1. Виды движения сыпучих тел в бункерах [1, 2]

При первом виде движения воронка на дневной поверхности сыпучего тела не образуется. При втором - образуется. При смешанном виде движения сыпучего тела происходит, как правило, переход гидравлического вида движения в нормальный, но, иногда, и наоборот.

Подробное описание видов движения сыпучих тел в бункерах приведено в работах Л.В. Гячева [1] и В.А. Богомягих [4]. В отличие от этой модели в принятый условный диаметр зерновых равен не среднеквадратическому ее размеру, а произведению коэффициента ее формы на ее среднеквадратический размер.

Вид движения сыпучего тела в бункере зависит от его физико-механических свойств и фрикционных свойств стенок и днища бункера, а также от формы и конструктивных параметров бункера.

Всегда стремятся к разработке такой конструкции бункера, которая бы давала наибольший расход сыпучего материала с равномерным (без пульсаций) его выходом из выпускного отверстия.

На расходные характеристики бункеров превалирующее влияние оказывает форма их нижней части. Чаще всего нижняя часть производственных бункеров выполняется в форме усеченного конуса, усеченной пирамиды и усеченной объемной трапеции. Обусловлено это тем, что такие формы нижней части бункера позволяют осуществлять равномерное распределение выходящих частиц сыпучего тела по площади выпускного отверстия бункера, что снижает пульсирующий характер их истечения, обусловленный динамическим сводообразованием в бункере дискретных частиц зернового материала.

Кроме того, нижняя часть таких бункеров должна отвечать условиям гидравлического истечения сыпучего тела, то есть, условиям, при которых приведенный угол внешнего трения сыпучего тела $\varphi_{пр}$ должен быть меньше угла наклона стенки днища бункера а к горизонтальной плоскости.

Соблюдение указанных требований к конструкции бункера еще не значит, что этот бункер является бункером наибольшей пропускной способности. Для этого необходимо еще одно условие - условие рациональной формы образующей нижней (выпускной) части стенки бункера.

Щелевые бункеры нашли широкое применение в сельскохозяйственном производстве. Однако до настоящего времени отсутствует аналитическое решение по определению формы продольного их сечения, обеспечивающей наибольшую пропускную способность зерновых материалов.

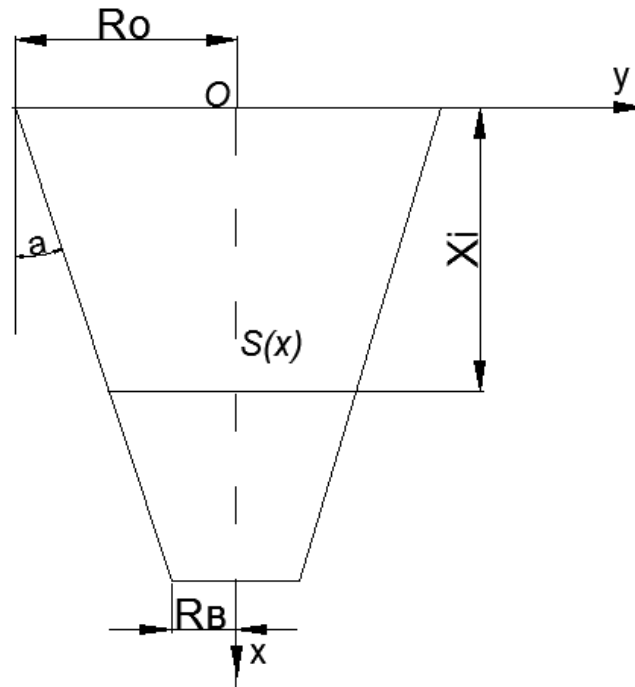
Необходимость такого решения обусловлена повышением расходных характеристик таких бункеров и равномерностью выхода из них зернистых материалов.

Известно [5, 6], что в любом поперечном сечении любого бункера (рисунок 2) скорость сыпучего тела, подчиняющегося закону сухого трения (закону Кулона) определяется по формуле

$$v = \frac{q}{F(x)}, \quad (1)$$

где q - объемный расход сыпучего материала, м³/с;

$F(x)$ - площадь текущего поперечного сечения бункера, м².



*Ro- входное отверстие бункера
 Rb- выпускное отверстие бункера*

Рис. 2. Форма продольного сечения щелевого бункера [разработано автором]

Тогда ускорение сыпучего в этом поперечном сечении бункера

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{F(x)} \right). \quad (2)$$

Выполнив дифференцирование и положив $a=g$, найдем соотношение между объемным расходом и объемным ускорением сыпучего тела (дифференциальное уравнение истечения) в случае, если рассматриваемое сечение x будет служить выпускным отверстием бункера (g - ускорение свободного падения, m/c^2)

$$\frac{dq}{dt} = gF(x) + \frac{F(x_i)}{[F(x_i)]^2} q^2. \quad (3)$$

Решение этого дифференциального уравнения имеет вид:

$$q = S(x) \left(-\frac{qF(x)}{F'(x)} \right)^{0.5} \cdot th \left(-\frac{gF'(x)}{F(x)} \right)^{0.5} \cdot t, \quad (4)$$

где th – гиперболический тангенс.

Или

$$\frac{dq}{dt} = gF(x) \left[1 - th^2 \left(-\frac{qF'(x)}{F(x)} \right)^{0.5} \cdot t \right]. \quad (5)$$

Если в формуле (3) положить $\frac{dq}{dt} = 0$ или в формулах (4) и (5) устремить $t \rightarrow \infty$, получим предельный расход бункера при условии, что рассматриваемое сечение x является выпускным отверстием.

$$q_{np} = F(x) \left(-\frac{gF(x)}{F'(x)} \right)^{0,5} \quad (6)$$

У щелевого бункера $S(x) = 2ly$, где l - длина щели, y - половина ширины щели.

Тогда

$$q_{np} = 2ly \left(-\frac{gy}{y'} \right)^{0,5} \quad (7)$$

Пользуясь формулами (6) и (7), можно построить кривую зависимости предельного расхода от абсциссы x . (рисунок 3)

Истинный предельный расход такого бункера будет, очевидно, определяться сечением, которое имеет наименьшую пропускную способность. Для щелевого бункера, который является сужающимся, таким сечением будет являться выпускное отверстие, так как оно имеет наименьшие размеры, величина же $y' = -tg\alpha = const$. Зависимость $q_{np} = f(x)$ у таких бункеров монотонно убывает. [7, 8]

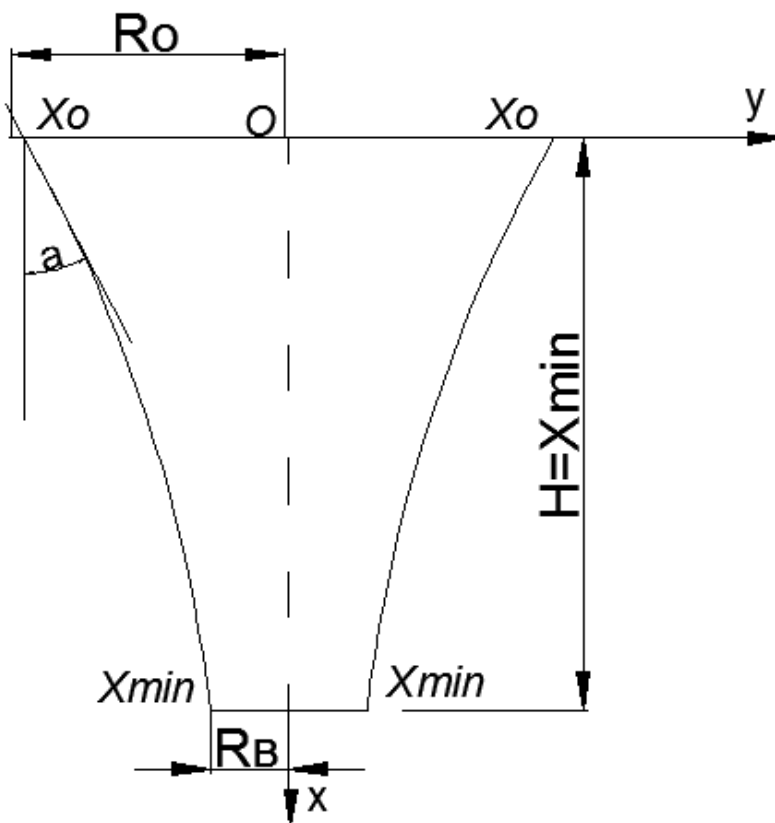


Рис. 3. Щелевой бункер с кривой образующей стенки [разработано автором]

Для бункера с криволинейным продольным сечением (см. рис. 2) зависимость $q_{np} = f(x)$ может иметь в интервале $0 < x \leq H$ минимумы. Сечение x_{min} , соответствующее наименьшему минимуму функции $q_{np} = f(x)$, ограничивает пропускную способность (расход бункера) всего бункера. Струя сыпучего материала претерпевает в этом случае разрыв, так как при $x > x_{min}$ частицы дискретного сыпучего тела совершают свободное падение с ускорением g .

Таким образом, для определения истинного расхода сыпучего дискретного материала из бункера с кривой его образующей достаточно найти наименьший минимум функции (4) или наименьшее значение этой функции в интервале $0 < x \leq H$. При исследовании удобнее рассматривать функцию

$$u = q_{np}^2 = \varphi(x) \quad (8)$$

Для модели зернового сыпучего тела, подчиняющейся закону Кулона, нетрудно решить и другую важную задачу - найти форму кривой продольного сечения, обеспечивающую наибольшую его пропускную способность. В этом случае необходимо добиться того, чтобы максимальный расход каждого последующего (более узкого) сечения был не меньше максимального расхода предыдущего сечения. В пределе расход каждого последующего сечения должен быть равен расходу предыдущего (бункер постоянной во всех сечениях пропускной способности). [7, 9]

Бункер, форма которого определена из указанного условия, имеет наибольшую пропускную способность среди всех таких же бункеров, имеющих одинаковые параметры входного и выходного отверстий, и может быть назван бункером максимального расхода.

Приравняв нулю производную выражения (8), получим дифференциальное уравнение, определяющее поверхность бункера максимального предельного расхода.

$$F(x) \cdot F''(x) = 3[F'(x)]^2. \quad (9)$$

Проинтегрируем уравнение (9), приняв начальные условия

$$F(0) = F_0; F'(0) = F'_0.$$

Получим следующее соотношение между площадями и абсциссами поперечных сечений бункера максимального расхода:

$$F = F_0 \left(\frac{F_0}{F_0 - 2F'_0 x} \right)^{0.5}. \quad (10)$$

Предельный расход такого бункера, согласно формуле (6), определяется параметрами S_0 и S'_0 входного отверстия

$$q_{np} = F_0 \cdot \left(- \frac{g \cdot F_0}{F'_0} \right)^{0.5}. \quad (11)$$

Решив формулу (11) относительно F'_0 и подставив значение F'_0 в уравнение (10), получим зависимость между F и x при заданном предельном расходе бункера и площади начального сечения (см. рис. 2)

$$F = \frac{F_0}{\left(l + 2 \frac{g \cdot F_0^2}{q_{np}^2} \cdot x \right)^{0.5}}. \quad (12)$$

В частности, если положить $y=R_0$, $y' = -b'_0 = tg\alpha'$, то формулы (10), (11), (12) для решаемых бункеров примут вид (рисунок 3)

$$q_{np} = 2 \cdot l \cdot R\vartheta \cdot \left(-\frac{g \cdot R\vartheta}{b'_0} \right)^{0,5} \quad (13)$$

$$y = \frac{R\vartheta}{\sqrt{1 + 8 \frac{glR_b^2}{q_{np}^2} x}} \quad \text{- гипербола} \quad (14)$$

Форма же сужающегося щелевого бункера наибольшего расхода будет иметь вид, показанный на рисунке 4.

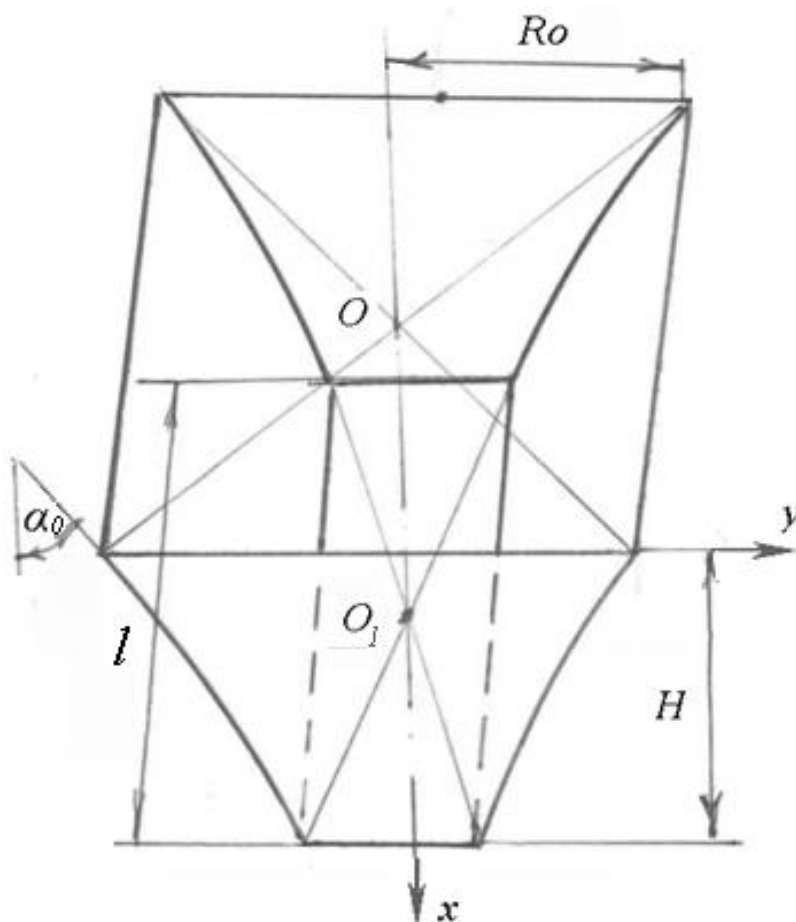


Рис. 4. Форма щелевого бункера наибольшего расхода [разработано автором]

Зависимость (13) для определения объемных характеристик щелевых бункеров максимального расхода не учитывает относительную скважность потоков зернистых материалов, истекающих из их выпускных отверстий. Это приводит к количественной неадекватности результатов теоретических и экспериментальных исследований. Расхождение между ними достигает иногда 15% и более. Поэтому эту зависимость относительно этой скважности необходимо скорректировать. [10]

Для решения этой задачи предположим, что истекающий из бункера объем $V_{и}$ представляет собой сумму совокупностей объемов дискретных абсолютно твердых шаровых частиц диаметром $d_{ш}$, подчиняющихся закону сухого терния (закону Кулона), и сумму объемов скважностей между ними и что в процессе установившегося режима истечения этой

совокупности ее плотность ρ_c остается неизменной и всегда меньше ее насыпной плотности ρ_n в бункере. Из [4] известно, что

$$\rho_c = (0,8 \div 0,9) \cdot \rho_n$$

В общем случае предельный объемный расход сыпучего из любого бункера определяется из выражения

$$q_{np} = \frac{V_{II}}{t},$$

где t -время истечения объема V_{II} сыпучего из бункера.

Исходя из указанных допущений, совокупная масса только дискретных частиц в истекающем объеме V_{II} определяется из равенства

$$V'_{II} \cdot \eta = V_{II} \cdot \rho_c, \quad (15)$$

где V'_{II} - совокупный объем дискретных частиц, истекающий из выпускного отверстия бункера;

η -плотность отдельной шаровой частицы;

ρ_c - плотность истекающей совокупности шаровых частиц.

$$V'_{II} = \frac{V_{II} \cdot \rho_c}{\eta}, \quad (16)$$

Разделив левую и правую части выражения (16) на время t , получим

$$q'_{np} = q_{np} \frac{\rho_c}{\eta} = 2 \cdot l \cdot R\theta \cdot \left(-\frac{g \cdot R\theta}{b'_0} \right)^{0,5} \cdot \frac{\rho_c}{\eta}. \quad (17)$$

где $\frac{\rho_c}{\eta}$ - относительная скважность потока дискретных частиц, истекающего из выпускного отверстия бункера.

Так, например для гороха, у которого $\eta=1100$ кг/м³, а $\rho_n=900$ кг/м³, истекающего за 200с из бункера объемом 1 м³, предельный его расход без учета относительной скважности $q_{np} = \frac{1}{200} = 0,005$ м³/с, а с ее учетом $q'_{np} = 0,005 \cdot \frac{0,85 \cdot 900}{1100} \approx 0,0035$ м³/с.

Разница в результатах составляет 0,0015 м³/с или 30%.

Таким образом при определении предельных расходов зернистых материалов, истекающих из выпускных отверстий щелевых бункеров, следует пользоваться не формулой (13), а формулой (17).

При определении массового расхода дискретного сыпучего тела выражение (17) следует умножить на η . Тогда,

$$q''_{np} = q_{np} \rho_c \text{ кг/с} \quad (18)$$

На рисунке 5 показаны графики функций: $q'_{np}=f(\rho_c)$ при $\eta=const$; $q'_{np}=f(\eta)$ при $\rho_c=const$. При этом, как известно, $\eta > \rho_c$

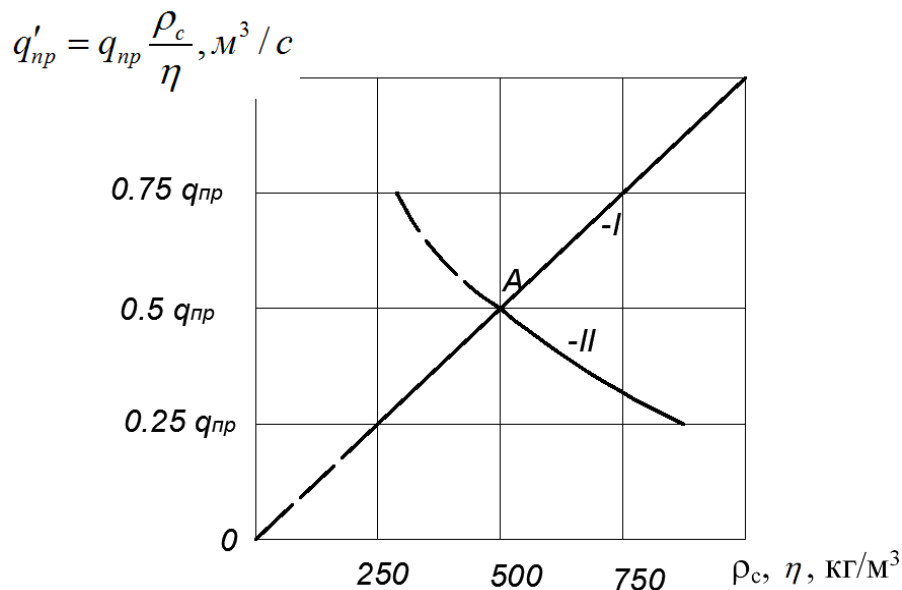


Рис. 5. Графики функций $q'_{np}=f(\rho_c)$ при $\eta=1000 \text{ кг/м}^3$ (I); $q'_{np}=f(\eta)$ при $\rho_c=250 \text{ кг/м}^3$ (II)
 [разработано автором]

Из графиков следует, что при определенных соотношениях плотности потока зерновых материалов (ρ_c) и плотности их дискретных частиц (зерновок) (η) расход бункера может снижаться на 50% (точка А).

Для щелевого бункера наибольшего расхода форма продольного его сечения должна выполняться по квадратичной гиперболе (формула 14).

Предельный расход дискретного сыпучего материала из щелевого бункера максимального расхода может снижаться на 15-50% из-за величины соотношения $\frac{\rho_c}{\eta}$ (из-за величины относительной скважности потока).

При расчетном определении объемного расхода дискретных сыпучих тел из выпускного отверстия любой формы бункера необходимо учитывать относительную скважность потока зернистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гячев П.В. Основы теории бункеров – Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. – 309 с.
2. Богомягких В.А., Пепчук А.П. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов – зерноград, ВНИПТИМЭСХМ, 1996. – 164 с.
3. Богомягких В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1973. – 148 с.
4. Богомягких В.А., Ялтанцев В.Г., Семененко Т.Н. Процесс образования сводов в силосах и бункерах при истечении сыпучих материалов // В. кн.: Механика деформируемых систем в сельхозмашиностроении.- Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1974. – с. 115-164.
5. Алферов К.В. Бункеры, затворы, питатели.– Москва: Машгиз, 1946. – 178 с.
6. Бугаев В.Т., Науменко Я.В. О распределении давления по высоте стенки в процессе образования засыпки // Механика сыпучих материалов: Тез. докл. Всесоюз. конф. – Одесса, 1980. - с. 138-139.
7. О форме и условном диаметре реальных частиц зернового материала Богомягких В.А., Несмиян А.Ю., Климович А.С., Ляшенко А.Л., Скудина А.А. Вестник аграрной науки Дона. 2014. Т. 2. №26. С. 30-34. ISSN: 2075-6704.
8. Богомягких В.А., Скудина А.А. Влияние некоторых сводообразующих факторов на время истечения зерновых из бункера наибольшего расхода. Молодой ученый. 2015. №14. с. 133-136. ISSN: 2072-0297
9. Богомягких В.А., Скудина А.А. О частоте пульсации сыпучего тела, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшего расхода. Молодой ученый. 2015. №14. с. 139-142. ISSN: 2072-0297.
10. Скудина А.А. О скважности зернового потока, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшей пропускной способности. Молодой ученый. 2015. №14. с. 188-191. ISSN: 2072-0297.

Рецензент: Загутин Дмитрий Сергеевич, профессор, д.ф.н., к.т.н., «Донской государственной технической университет».

Skudina Alexandra Alexandrovna

Don State Technical University
Russian Federation, Rostov-on-Don
E-mail: Aspirant-2004@mail.ru

Bogomyagkikh Vladimir Alexeevich

Azov-Black Sea State Agroengineering Academy
Russian Federation, Zernograd

About the slot-hole bunker of the maximum consumption of grain material

Abstract. Increase of productivity of cars, installations and technological lines of various industrial complexes in general and agricultural, in particular, in many respects depends on the capacity of bunkers which, often, function not only as the transporting working bodies but also as the portioning devices supplied with systems of automated management and the differentiated regulation in rather wide range of second volumes of bulk and their uniform distribution on the area of the outlet of the bunker. In this aspect of researches as in Russia, and abroad it is very not enough. Due to stated, there is a social problem of permission of a contradiction between the level of need for need of the solution of this task and level scientific knowledge for its decision and practical realization of results in agricultural production.

Results of the analytical solution of the model of grain material including L.V. Gyachev's assumptions, V.A. Bogomyagky are given in article, the dependences defining a form forming walls of conic and slot-hole bunkers of the greatest expense, and also expenses of grain materials of these bunkers are received. The type of the forming walls of these bunkers is similar to boundary lines of sliding of streams of grain materials at their normal expiration from the called bunkers.

Keywords: slot-hole the bunker of the maximum expense; grain material; the forming bunker wall; model of grain material; a form of the slot-hole bunker of the maximum expense; density of discrete particles; a form of longitudinal section of the bunker; vaulted structures.

REFERENCES

1. Gyachev P.V. Osnovy teorii bunkerov – Novosibirsk: Izd-vo Novosibirskogo universiteta, 1992. – 309 s.
2. Bogomyagkikh V.A., Pepchuk A.P. Intensifikatsiya razgruzki bunkernykh ustroystv v usloviyakh svodoobrazovaniya zernistykh materialov – Zernograd, VNIPTIMESKhM, 1996. – 164 s.
3. Bogomyagkikh V.A. Teoriya i raschet bunkerov dlya zernistykh materialov. - Rostov-na-Donu: RGU, 1973. – 148 s.
4. Bogomyagkikh V.A., Yaltantsev V.G., Semenenko T.N. Protsess obrazovaniya svodov v silosakh i bunkerakh pri istechenii sypuchikh materialov // V. kn.: Mekhanika deformiruemykh sistem v sel'khoz mashinostroenii.- Rostov-na-Donu: RISKhM, 1974. – s. 115-164.
5. Alferov K.V. Bunkery, zatvory, pitateli.– Moskva: Mashgiz, 1946. – 178 s.
6. Bugaev V.T., Naumenko Ya.V. O raspredelenii davleniya po vysote stenki v protsesse obrazovaniya zasypki // Mekhanika sypuchikh materialov: Tez. dokl. Vsesoyuz. konf. – Odessa, 1980. - s. 138-139.
7. O forme i uslovnom diametre real'nykh chastits zernovogo materiala Bogomyagkikh V.A., Nesmiyan A.Yu., Klimovich A.S., Lyashenko A.L., Skudina A.A. Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2014. T. 2. №26. S. 30-34. ISSN: 2075-6704.
8. Bogomyagkikh V.A., Skudina A.A. Vliyanie nekotorykh svodoobrazuyushchikh faktorov na vremya istecheniya zernovykh iz bunkera naibol'shego raskhoda. Molodoy uchenyy. 2015. №14. s. 133-136. ISSN: 2072-0297
9. Bogomyagkikh V.A., Skudina A.A. O chastote pul'satsii sypuchego tela, vykhodyashchego iz vypusknoy otverstiya bunkera naibol'shego raskhoda. Molodoy uchenyy. 2015. №14. s. 139-142. ISSN: 2072-0297.
10. Skudina A.A. O skvazhnosti zernovogo potoka, vykhodyashchego iz vypusknoy otverstiya bunkera naibol'shey propusknoy sposobnosti. Molodoy uchenyy. 2015. №14. s. 188-191. ISSN: 2072-0297.