

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

Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN615.pdf>

DOI: 10.15862/66TVN615 (<http://dx.doi.org/10.15862/66TVN615>)

**УДК 631.354.024/.028**

**Скудина Александра Александровна**

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, г. Ростов-на-Дону<sup>1</sup>

Старший преподаватель

E-mail: Aspirant-2004@mail.ru

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=774517](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=774517)

## **Влияние сводоразрушающего устройства на работу бункера наибольшей пропускной способности**

---

<sup>1</sup> 344049, г. Ростов-на-Дону, ул. Еременко 101, кв. 432

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние сводоразрушающего устройства на расходные характеристики бункеров, учитывающие форму частиц сыпучего материала и его скважность при выходе из выпускного отверстия бункера; сводообразующие факторы при статическом и динамическом сводообразовании дискретных частиц сыпучего материала и пульсирующий характер его истечения; вид истечения и форму бункера, из которого он истекает. Сложность решения данной задачи обусловлена многообразием сыпучих материалов и условиями их взаимодействия с рабочими поверхностями бункерных установок. Поэтому в каждом конкретном случае для аналитического решения этой задачи необходима вполне конкретная научно обоснованная модель сыпучего материала, достаточно полно отвечающая его физико-механическим свойствам.

В статье приводятся результаты методики расчета непрерывности и устойчивости истечение сыпучих материалов из осесимметричных бункеров наибольшего расхода со сводоразрушающим устройством, получен расчет колебательного элемента сводоразрушающего устройства для резонансного разрушения эквивалентного неустойчивого свода, частоты вибраций колебательного элемента сводоразрушающего устройства.

**Ключевые слова:** сводоразрушающее устройство; щелевые бункера максимального расхода; колебательный элемент; 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. Влияние сводоразрушающего устройства на работу бункера наибольшей пропускной способности // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015)  
<http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/66TVN615

Статья опубликована 25.11.2015.

Из всего многообразия факторов, влияющих на производительность бункеров, путем экспертного ранжирования отобраны следующие четыре фактора:  $x_1$  - отношение приведенного диаметра выгрузного отверстия к диаметру частицы сыпучего материала;  $x_2$  - угол наклона стенок днища бункера к вертикали, град;  $x_3$  - относительная влажность сыпучего материала, %;  $x_4$  - наличие (отсутствие) сводоразрушающего устройства. В качестве сыпучего материала использовались пшеничные зерновые отходы. [1, 2, 3]

Для определения оптимальной схемы работы бункера была составлена и реализована матрица (таблица 1) для двух факторов. На данном этапе исследований определялось влияние на критерий оптимизации фактора  $x_4$ . Для этого составлена таблица с двумя входами. Вторым фактором в этой таблице выбран  $x_1$ . При статистической оценке полученных результатов принят уровень значимости в 5%.

**Таблица 1**  
**Таблица с двумя входами для вычисления эффективности факторов  $x_1$  и  $x_4$**

Оцениваемый фактор	+ $x_1$	- $x_4$
+ $x_4$	65,0	67,0
	69,0	69,0
	67,0	70,0
	$X_y=201,0$	$X_y=206,0$
	$Y_1=67,0$	$y_2=68,667$
- $x_4$	86,0	90,0
	85,0	94,0
	89,0	93,0
	$X_y=260,0$	$X_y=277,0$
	$y_3=86,667$	$y_4=92,337$

Величины эффектов:  $x_1$  и  $x_4$  подсчитывались по формуле и получились равными  $x_1=-3,667$  и  $x_4=-21,667$ .

Среднеквадратическая ошибка  $SR=2,1986$ .

Проверка по t-критерию

$$t_1=-3,347; \quad t_4=-19,706.$$

Величина эффекта,  $x_4=-21,667$  и значимость эффекта по t-критерию подтвердилась. Расчетное значение составило  $t_4=-19,706$  против табличного –  $t_{0,05}=2,306$ .

Таким образом, можно считать, что применение сводоразрушающего устройства существенно влияет на время истечения сыпучего материала из бункера, причем знак «минус» при величине эффекта свидетельствует о выгодности схемы работы бункера со сводоразрушающим устройством, так как при этом время истечения сыпучего материала уменьшается. Это объясняется тем, что при разгрузке бункера без разрушающего устройства образуются динамические своды, затрудняющие истечение сыпучего материала. [4, 5]

Исследуем двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее время истечения сыпучего материала в зависимости от отношения диаметра выпускного отверстия бункера к условному диаметру частицы сыпучего материала и угла наклона стенок днища бункера к вертикали. В результате имеем

$$y = 83,5151 - 65,2333 x_1 - 25,7208 x_2 + 12,2833 x_1 x_2 + 43,5789 x_1^2 + 10,1205 x_2^2.$$

Определим координаты центра поверхности дифференцированием уравнения и решаем системы уравнений

$$\begin{cases} dt/dx_1 = -651,2333 + 12,2833x_2 + 87,1578x_1 = 0; \\ dt/dx_2 = -25,7208 + 12,2833x_1 + 20,2410x_2 = 0. \end{cases}$$

Откуда  $x_{1s} = 0,6227$ ;  $x_{2s} = 0,8928$ .

Подставляя значения  $x_{1s}$  и  $x_{2s}$  в уравнение сечения, получим значение времени истечения в центре поверхности  $t_s = 51,7246$  с.

Проведем каноническое преобразование уравнения, для чего решим характеристическое уравнение

$$f(B) = \begin{vmatrix} 43,579 - B & \frac{1}{2} 12,2833 \\ \frac{1}{2} 12,2833 & 10,1205 - B \end{vmatrix} = 0$$

Собственными корнями данного характеристического уравнения будут:  $B_{11} = 44,6706$ ;  $B_{22} = 9,0288$ .

Уравнение в канонической форме запишется

$$t_{ист} - 51,7246 = 44,6706x_{12} + 9,0288x_{22}.$$

Правильность вычислений подтверждается проверкой, то есть, сравнением сумм коэффициентов при квадратичных членах

$$43,5789 + 10,1205 = 53,6994;$$

$$44,6706 + 9,0288 = 53,6994.$$

$$\text{Откуда } \alpha = 1005'.$$

Поскольку угол положителен, то оси в центре поворачиваем против часовой стрелки. [7]

Подставляя различные значения времени истечения  $t_{ист}$  в каноническое уравнение, получаем уравнение соответствующих контурных линий, в совокупности представляющих целое семейство сопряженных эллипсов (линий равного значения времени истечения сыпучего материала из бункера). Из формулы видно, что минимальное значение времени истечения сыпучего материала из бункера  $t_{ист}$  в рассматриваемом сечении поверхности отклика при третьем факторе ( $x_3$ ), взятом на указанном уровне, равно 51,7246 с. Это имеет место при отношении диаметра выпускного отверстия бункера к условному диаметру частицы сыпучего материала, примерно 10,2 мм и угле наклона стенок днища бункера к вертикали – примерно 390. На основании этого можно заключить, что оптимальное значение рассматриваемых факторов может находиться в пределах  $Dв/dy = 9,5 \dots 11,0$ ;  $\alpha = 30 \dots 400$ .

Рассмотрение данного двумерного сечения показывает, что при увеличении отношения диаметра выпускного отверстия бункера к диаметру частицы сыпучего материала, время истечения уменьшается (что логично), а производительность бункера увеличивается. При увеличении или уменьшении угла наклона стенок днища бункера от оптимального, время истечения увеличивается, а, следовательно, производительность бункера уменьшается. [8, 9, 10]

Подобным образом построены и остальные два двумерных сечения.

При исследовании двумерного сечения поверхности отклика, характеризующего время истечения сыпучего материала из бункера в зависимости от угла наклона стенок днища

бункера к вертикали и влажности сыпучего материала, третий исследуемый фактор был взят на уровне  $x_1 = +1$ .

Для данного взаимодействия факторов, минимальное значение времени истечения сыпучего материала равно  $t_{ист} = 71,2148$  с, что имеет место при влажности 13,5% и угле наклона стенок днища бункера к вертикали около 34,90, оптимальное значение исследуемых факторов может быть в пределах  $\alpha = 30 \dots 400$ ;  $W = 12 \dots 14\%$ .

Рассмотрение данного двумерного сечения показывает, что при увеличении влажности время истечения возрастает, и производительность бункера уменьшается. При увеличении или уменьшении угла наклона стенок днища бункера от оптимального, время истечения увеличивается и производительность бункера уменьшается. [11, 12]

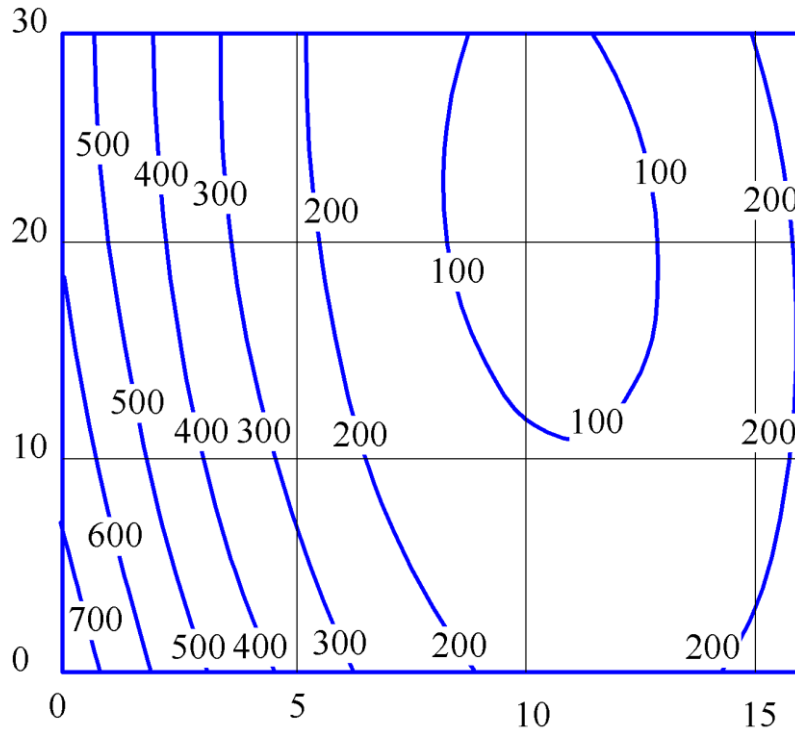
Для построения двумерного сечения поверхности отклика, характеризующего время истечения сыпучего материала из бункера в зависимости от отношения диаметра выпускного отверстия бункера к диаметру частицы сыпучего материала и влажности, фактор  $x_2 = 0$ . При этом получено минимальное время истечения, равное  $t_{ист} = 186,4314$  с, что соответствует  $Dв/dy = 12$  и  $W = 80,9\%$ .

Рассматривая данное двумерное сечение, можно отметить, что при увеличении отношения диаметра выпускного отверстия бункера к диаметру частицы сыпучего материала, время истечения уменьшается, а расход сыпучего материала из бункера увеличивается. Причем, оптимальное значение влажности, полученное на этом двумерном сечении, равное  $W = 80,9\%$  указывает на то, что при незначительной влажности, равной от 10,5 до 16,5%, истечение сыпучего материала происходит нормально; при дальнейшем повышении влажности из-за образования статических сводов, истечение полностью прекращается. При дальнейшем повышении влажности, когда зерновой материал становится вододисперсным, истечение возобновляется опять, и для этого случая оптимальное значение влажности находится в пределах  $W = 75 \dots 85\%$  при  $Dв/dy = 11 \dots 13$ . (рисунки 1, 2, 3)

Следует отметить, что при проведении экспериментальных исследований, с целью построения указанной модели, масса сыпучего материала сохранялась в пределах  $Q_{э} = 0,027$  т. Это означает, что найденное время  $t_{ист}$  соответствует истечению 0,027 т. если масса сыпучего материала будет равна  $Q$ , то это соответствует времени истечения  $t$

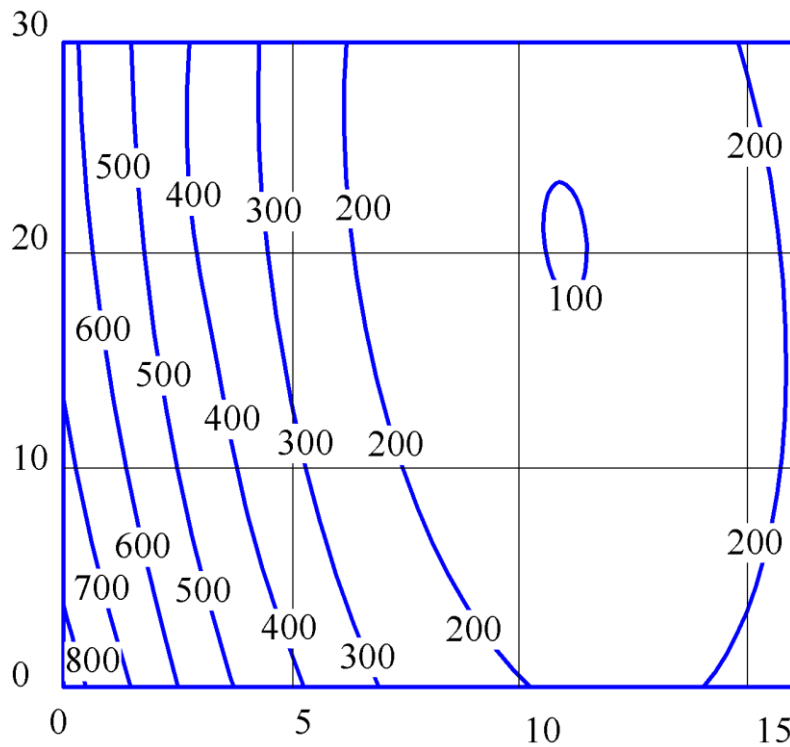
$$t = Q \cdot t_{ист} / 0,027,$$

$$i = 0 \dots 16 \quad j = 0 \dots 30.$$



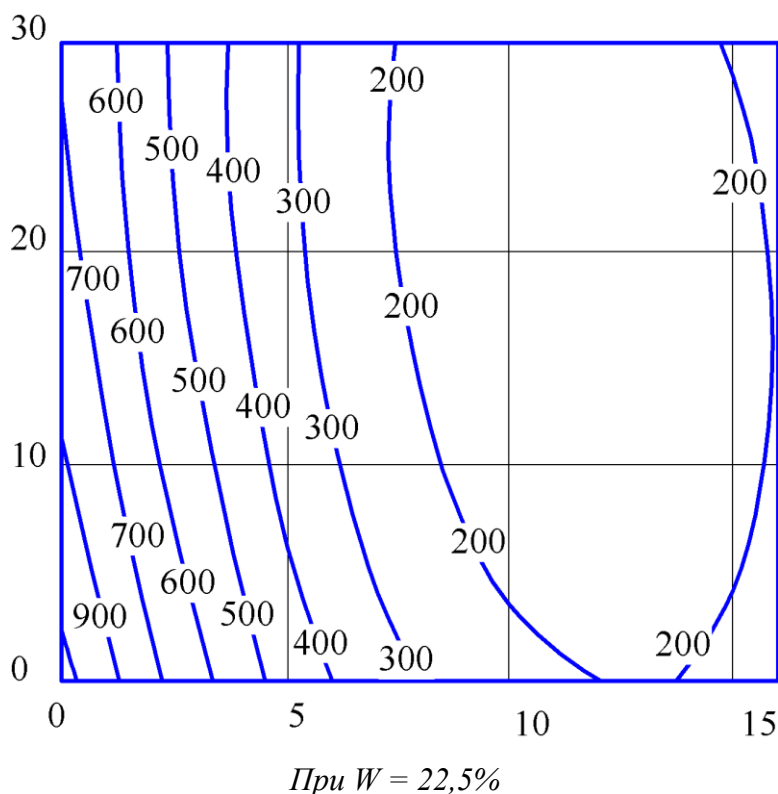
При  $W = 10,5\%$

**Рис. 1.** Контурные графики поверхности отклика [7]



При  $W = 16,5\%$

**Рис. 2.** Контурные графики поверхности отклика [7]



**Рис. 3.** Контурные графики поверхности отклика [7]

Сводоразрушающие устройства устанавливаются для устранения возникающих в бункерах статически устойчивых и неустойчивых сводов, что стимулирует истечение из бункеров сыпучих тел. Основные характеристики и режим работы таких устройств определяются параметрами и «поведением» неустойчивых сводов. При установившемся режиме истечения сыпучего тела по теории сводообразования проф. Богомяких В.А. [4], зоной, где наиболее вероятно существование сводов, является зона «возникновения» и «разрушения» эквивалентного неустойчивого свода.

Колебательный элемент сводоразрушающего устройства для резонансного разрушения эквивалентного неустойчивого свода должен устанавливаться в той зоне бункера, где вероятность возникновения неустойчивых сводов максимальна.

Частоты вибраций колебательного элемента сводоразрушающего устройства и эквивалентного неустойчивого свода должны быть равны, а фазы колебаний – совпадать.

Для пассивных колебательных элементов, имеющих в конструкции упругие элементы или элементы с упругими связями и возбуждающихся от периодически возникающих и разрушающихся неустойчивых сводов необходимо, чтобы жесткость таких упругих элементов или их упругих связей соответствовала периоду «возникновения» и «разрушения» эквивалентного неустойчивого свода.

Производительность бункера без учета сводообразования пшеницы в нем

$$c = 0,4 \sqrt{2m} \quad \text{или} \quad c = 0,4m/t.$$

Конструктивные параметры колебательного элемента сводоразрушающего устройства выбираются в соответствии с величиной зоны бункера, где наиболее вероятно возникают неустойчивые своды.

При расчете сводоразрушающих элементов необходимо также знать физико-механические свойства сыпучего материала ( $\gamma$ ,  $\psi$ ,  $\phi$ ,  $\phi_{пр}$ ,  $\beta$ ,  $d_y$ ) и учитывать вид истечения сыпучего тела из бункера, который обуславливается формой бункера.

Пример расчета.

Рассчитать технологические параметры бункера, если  $R_0 = 2,0$  м;  $R_e = 0,15$  м;  $\alpha = 20^\circ$ . Сыпучий материал - отходы пшеницы, физико-механические свойства которой следующие:  $\beta = 17^\circ$ ;  $\psi = 16^\circ$ ;  $\phi = 27^\circ$ ;  $\phi_{пр} = 27^\circ$ ;  $d_y = 3,9$  мм;  $\rho = 0,829$  кг/м<sup>3</sup>. Бункер конический, работающий с постоянной подпиткой сыпучим материалом.

Используя вышеуказанную методику расчета бункеров, получим:

а. Высота бункера

$$H_b = 1,75 \text{ м.}$$

б. Бункер предназначен для гидравлического вида истечения пшеницы, так как

$$\alpha < \alpha_i = \pi/2 - \beta - \psi - \phi'_{пр} = 300.$$

в. Наибольший сводообразующий размер выпускного отверстия бункера 0,188.

г. Высота расположения в бункере свода

$$H_{экв} = 0,58 \text{ м.}$$

д. Эквивалентный радиус бункера 0,587 м.

е. Производительность бункера без учета сводообразования пшеницы в нем 0,2173 м<sup>3</sup>/с.

ж. Массовая производительность бункера 783,1563 кг/с.

з. Скорость истечения пшеницы из выпускного отверстия бункера 1,107 м/с.

и. Объем бункера 8,2778 м<sup>3</sup>.

к. Масса пшеницы, находящаяся в объеме бункера 6862,3 кг.

л. Время истечения пшеницы из бункера 38,35 с.

м. Частота колебаний активного элемента сводоразрушающего устройства 2,212 с.

н. Массу колебательного элемента сводоразрушающего устройства принимаем  $t = 4,42$  кг, тогда жесткость пружины 8,67 Н/см.

В качестве исходных данных принимались параметры и режимы работы бункера зерноочистительного агрегата типа ЗАВ и сыпучий материал – овес.

Из этого можно сделать вывод, что с увеличением массы зерна, находящегося в бункере, и уменьшение коэффициента интенсивности процесса, время истечения зерна возрастает. Увеличение плотности сыпучего материала несколько уменьшает время истечения. Изменение скорости истечения и радиуса выпускного отверстия бункера на время истечения оказывает влияние по гиперболическому закону.

Из вышеуказанного также следует:

- применение сводоразрушающего устройства снижает время истечения отходов сыпучего материала из бункера на 5,10... 19,22%;
- оптимальный угол наклона стенок днища бункера к вертикали составляет 20... 35°;



- при увеличении отношения диаметра выпускного отверстия бункера к условному диаметру частицы сыпучего материала расход из бункера увеличивается;
- значение коэффициента сопротивления сдвигу находится в пределах 1,2...1,4;
- углы ориентации и укладки сыпучего материала взаимосвязаны; разница между ними, например, для овса составляет 18...21°;
- аналитические зависимости позволяют производить расчет бункеров и сводоразрушающих устройств с учетом физико-механических свойств сыпучего материала и технологических параметров бункеров;
- с увеличением коэффициента сопротивления сдвигу сыпучего связанного материала частота колебательного элемента сводоразрушающего устройства должна увеличиваться.

## 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., Семенов 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. Богомягких В.А., Несмиян А.Ю. Функционирование бункеров максимального расхода в условиях сводообразующего истечения зерновых материалов. - зерноград. АЧГАА, 2014. - 240 с.
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.
11. Скудина А.А., Богомягких 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.
12. Скудина А.А., Богомягких В.А. О физической сущности сводообразующего истечения зерновых сыпучих материалов из бункеров наибольшей пропускной способности // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/40TVN515.

**Рецензент:** Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

**Skudina Alexandra Alexandrovna**

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

## **Influence of the device of the bunker of the greatest capacity destroying the arch for work**

**Abstract.** In article influence of the device destroying the arch on the account characteristics of bunkers considering a form of particles of bulk and its porosity at an exit from the bunker outlet is considered; the factors forming the arch at static and dynamic formation of the arch of discrete particles of bulk and the pulsing nature of its expiration; a type of the expiration and a form of the bunker from which it expires. Complexity of the solution of this task is caused by variety of bulks and conditions of their interaction with working surfaces of bunker installations. Therefore in each case quite concrete evidence-based model of bulk which is rather fully answering to its physicomachanical properties is necessary for the analytical solution of this task.

Results of a method of calculation of a continuity and stability the expiration of bulks from axisymmetric bunkers of the greatest expense with the device destroying the arch are given in article is discharged an oscillatory element of the device destroying the arch for resonant destruction of the equivalent unstable arch, frequency of vibrations of an oscillatory element of the device destroying the arch.

**Keywords:** the device destroying the arch; slot-hole the bunker of the maximum expense; an oscillatory element; 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 mashinostroyeniye. - 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. Bogomyagkikh V.A., Nesmiyan A.Yu. Funktsionirovaniye bunkerov maksimal'nogo raskhoda v usloviyakh svodoobrazuyushchego istecheniya zernovykh materialov. - Zernograd. AChGAA, 2014. - 240 s.
8. Bogomyagkikh V.A., Skudina A.A. Vliyaniye 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 vypusknogo 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 vypusknogo otverstiya bunkera naibol'shey propusknoy sposobnosti. Molodoy uchenyy. 2015. №14. s. 188-191. ISSN: 2072-0297.
11. Skudina A.A., Bogomyagkikh V.A. O shchelevom bunkere maksimal'nogo raskhoda zernovogo materiala // Internet - zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN515.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/41TVN515.
12. Skudina A.A., Bogomyagkikh V.A. O fizicheskoy sushchnosti svodoobrazuyushchego istecheniya zernovykh sypuchikh materialov iz bunkerov naibol'shey propusknoy sposobnosti // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN515.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/40TVN515.