

ХОДЯЧИЙ ВЛАДИСЛАВ

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»
vladhod22@gmail.com

НИКІТИН ОЛЕКСАНДР

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»
vargin@ukr.net

ПАРАМЕТРИ ПОТОКІВ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Необхідність вирішення питань, пов'язаних з вивченням потоків сипких матеріалів, обумовлена розробкою сучасних сенсорів параметрів потоків сипких матеріалів. Зокрема, мова може йти про сенсори обтікання. Даний тип сенсорів є одним з найбільш привабливих для використання в каналах управління і регулювання сучасних автоматизованих систем керування виробництвом в аграрній і харчовій промисловості.

Питання, які розглядаються в даній роботі, відносяться до механіки потоків сипких матеріалів. Основна увага приділяється вільному гравітаційному потоку. В якості сипкого матеріалу розглядається зерновий матеріал.

В роботі було розглянуто, як веде себе сипкий матеріал при вільному падінні з бункера у безповітряному просторі і, також, в повітряному. Приведені формули розрахунку швидкості потоку сипкого матеріалу в гравітаційному потоці.

Ключові слова: сипкий матеріал, бункер, сенсор, витрата, потік сипкого матеріала.

KHODIACHYI VLADYSLAV, NIKITIN OLEXANDER

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

PARAMETERS OF FLOWS OF GRAIN MATERIALS

Solving the issue related to the study of flows of loose materials is due to the development of modern sensors of flow parameters of loose materials. In particular, it can be about flow sensors. This type of sensors is one of the most attractive for use in the control and regulation channels of modern automated production control systems in the agricultural and food industry.

The issues considered in this article relate to the mechanics of flows of loose materials. The field of mechanics, which studies the static and dynamic aspects of loose materials, is one of the basic branches of mechanics in general. The main focus is on free gravity flow. Grain material is considered as loose material. Taking into account the peculiarities of loose material and the specifics of various industries, the problem of creating flow parameter sensors was and will be relevant. The definition of the object and process for which the sensor is being developed, namely the study of flows of loose materials, is also relevant.

The article considered how loose material behaves during free fall from silos in an airless space and also in an airy one. The consumption of bulk materials from the bottom opening of the silo, in most cases, is not stable and leads to the formation of a variable flow of bulk material. After the grain leaves the silos opening, a gravitational flow is formed, consisting of dispersed grains and an air flow. The formed flow of bulk material can be considered as an information factor for determining the consumption of bulk material and a factor in creating effective sensors for automated control systems of technological processes. Formulas for calculating the flow rate of loose material in a gravity flow and the flow volumes at different states were also given in the article.

Key words: loose material, sensor, flow of loose material, mass flow silos.

Постановка проблеми

В таких автоматизованих технологічних процесах, де використовуються сипкі матеріали, обов'язково повинен бути реалізований процес визначення витрати сипких матеріалів. До сипких матеріалів відносяться: зерновий матеріал (пшениця, ячмінь, кукурудза, горіх, насіння сояшника), крупа, цукор, сіль, борошно, вугілля, цемент тощо. Тому питання, пов'язане з дослідженням параметрів процесів, є одним з основних в галузі сипких матеріалів.

Враховуючи особливості сипкого матеріалу та специфіку різних виробництв в аграрних, хімічних, харчових, фармацевтичних, металургійних та інших галузях, проблема створення сенсорів параметрів потоків була, є і буде актуальною. Визначення об'єкту і процесу, для якого розробляється сенсор, а саме вивчення потоків сипких матеріалів, також є актуально значимою.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Галузь механіки, що вивчає статичні та динамічні аспекти сипких матеріалів, є однією з базових в механіці в цілому. Основним об'єктом вивчення у багатьох дослідженнях є процеси, що мають місце при взаємодії сипкого матеріалу з внутрішніми поверхнями ємностей [1, 2, 3, 4, 5]. Як правило, в ємностях при витоку сипкого матеріалу утворюються склепінчасті структури, які суттєво впливають на витік сипкого матеріалу. Особливо суттєво це має місце при витоці вологих зернових матеріалів. Процес утворення склепінчастої форми приводить до суттєвої зміни виходу сипкого матеріалу з вихідного отвору бункера. На підприємствах для усунення цього використовують різні механічні пристрої. Вивченню процесів утворення склепін присвячено багато робіт. [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

Багато дослідників вивчають процес витоку сипкого матеріалу з бункера виходячи з детермінованості його протікання. Ряд дослідників вивчають процес витоку сипкого матеріалу як стохастичний процес, що залежить від багатьох випадкових факторів. [13, 14, 15]

Вивченням процесу витоку сипких матеріалів через отвір бункера займалися такі дослідники, як Добровольская С.Г.[16], Комченко Е.В.[17], Платонов П.Н.[18], Скудина А.А.[19], Богомягих В.А.[20] та

багато інших. Встановлено, що на швидкість витоку сипкого матеріалу з бункера впливають діаметр отвору виходу, середня висота стовпа сипкого матеріалу, розмір частинок, кути природнього укосу матеріалу, кут внутрішнього матеріалу, кут внутрішнього тертя частинок, кут нахилу стінок даної частини бункера. Формули, які запропоновані різними авторами для визначення витрат сипких матеріалів мають різний вид і дають різні результати.

Виклад основного матеріалу

В роботі розглядаються процеси, що мають місце в гравітаційному вільному потоці сипкого матеріалу, наприклад, зерна пшениці, який формується після виходу з бункера через даний отвір. Необхідність розгляду цього питання пов'язана з вивченням процесу взаємодії гравітаційного потоку з твердими тілами.

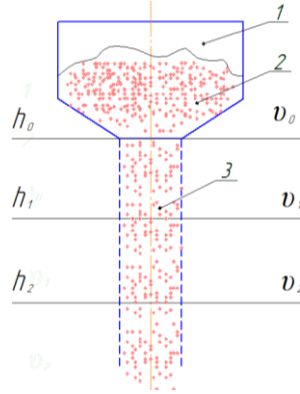


Рис. 1. Витік зерна з донного отвору бункера:
1 – бункер, 2 – зерно, 3 – потік зерна

Гравітаційний потік зерна, що формується в процесі витоку з даного отвору, наведено на рис.1. Якщо припустити, що зернини падають в безповітряному просторі, то їх швидкість весь час буде збільшуватися і дорівнювати (1). Потік буде, умовно кажучи, розтягуватися. Графік зміни швидкості зернини від відстані h наведено на рис.2.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

де v – швидкість падіння зернини, g – прискорення вільного падіння, h – висота падіння.

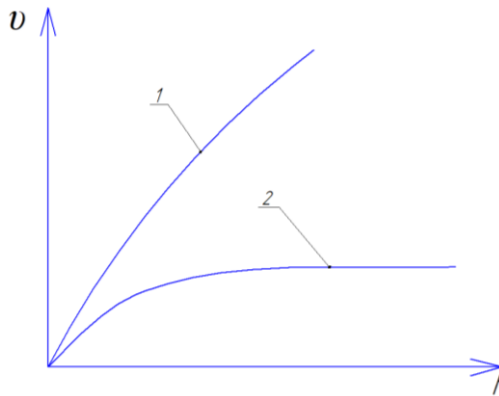


Рис. 2. Графік залежності швидкості падіння зернини в безповітряному просторі (графік 1) і в повітряному просторі (графік 2) від висоти h .

Якщо зернина падає в повітряному просторі, то її швидкість буде збільшуватися до досягнення умов рівноваги:

$$\bar{G} = \bar{F}_A + \bar{F}_g \quad (2)$$

де G – вага зернини, F_R – сила Архімеда, F_g – сила, що обумовлена динамічним тиском.

Відповідно:

$$\begin{aligned} G &= mg \\ F_A &= \rho_{\text{п}} g V \\ F_g &= \alpha \frac{\rho_{\text{п}} v^2}{2} S \end{aligned} \quad (3)$$

де v – швидкість падіння зернини; h – відстань від отвору бункера до зерна; m – маса зернини, $\rho_{\text{п}}$ – щільність повітря, V – Об'єм зернини, α - коефіцієнт опору, S – середній міделевий переріз зернини.

$$v = \sqrt{\frac{2}{S\alpha} \left(m \frac{q}{\rho_n} - gV \right)} \quad (4)$$

При находженні зерна в бункер, має місце насипна щільність сипкого матеріалу. Діапазон варіювання цього показника для пшениці складає (860...660) кг/м³. Після послідовного виходу зернин з отвору бункера, утворюється гравітаційний потік, що складається з розсержених зернин і повітряного потоку.

Уточнимо, як змінюється кількість зернин в одиниці об'єму потоку при її падінні. В умовах падіння в безповітряному просторі, час витоку зерна з бункера в загальному випадку визначається формулою:

$$t = \frac{V}{q_v}$$

де t – час витоку зерна з бункера; V – об'єм зерна в бункері; q_v – об'ємна витрата зерна.

Другим шляхом визначення часу витоку зерна з бункера є експериментальне визначення цієї величини. В цьому випадку довжина потоку зерна буде складати:

$$l = \frac{gt_e^2}{2}$$

де l – довжина потоку зерна; t_e – експериментально визначений термін витоку зерна з бункера.

Об'єм потоку сипкого матеріалу V_n дорівнює:

$$V_n = l \cdot S_0$$

де S_0 – площа отвору бункера.

Середня щільність зернин в потоці ρ_n буде складати

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}$$

де m – загальна маса зерна в потоці (в бункері).

Довжина потоку зерна при умові відсутності динамічного тиску буде складати:

$$l = \frac{gt^2}{2}$$

Відповідно, об'єм дорівнює:

$$V = l \cdot S$$

де S – площа поперечного перерізу потоку.

Якщо врахувати опір повітря, то маємо розглянути два етапу руху зернини (рис 3):

- 1) потік збільшує швидкість;
- 2) потік рухається з постійною швидкістю.

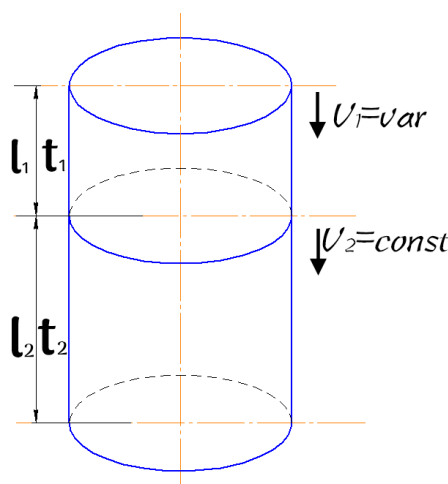


Рис. 3. Гравітаційний потік сипкого матеріалу

Швидкість V_2 визначаємо по формулі 4. Величина l_1 і l_2 при цьому буде дорівнювати:

$$l_1 = \frac{v_2}{2} t_2; l_2 = \frac{v_2^2}{2g}$$

Знаючи довжину відповідного етапу, можна визначити об'єм потоку сипкого матеріалу і середню густину потоку сипкого матеріалу в русі. Це дасть можливість оцінювати механічний вплив гравітаційного

потокі сипких матеріалів на тверді тіла обтікання в залежності від місцезнаходження тіл відносно отвору бункеру.

Висновки

Наведений матеріал дозволяє зробити наступні висновки:

1. Витрата сипких матеріалів з донного отвору бункеру в більшості випадків не є стабільною і призводить до формування змінного потоку сипкого матеріалу.
2. Після витоку з бункера, сипкий матеріал рухається в гравітаційному полі Земної кулі і в повітряному просторі. При русі у потоці з'являються параметри сипкого матеріалу. Змінюється умовна густина потоку – кількість частинок сипкого матеріалу в одиниці об'єму гравітаційного потоку.
3. Сформований потік сипкого матеріалу може розглядатися як інформаційний фактор визначення витрати сипкого матеріалу і бути фактором створення ефективних сенсорів для автоматизованих систем керування технологічними процесами.
4. Динамічний силовий вплив гравітаційного потоку сипкого матеріалу на тверді тіла обтікання залежить від відстані між отвором витоку сипкого матеріалу з бункера та твердими тілами обтікання.

Література

1. Алферов К. В. Бункеры, затворы и питатели. Основы проектирования и расчета / К. В. Алферов., 1946. – 177 с.
2. Алферов К. В. Бункерные установки / К. В. Алферов, Р. Л. Зенков., 1955. – 308 с.
3. Банит Е. А. Исследование процесса истечения сыпучих материалов из отверстия сосудов : дис. канд. техн. наук / Банит Е. А., 1978. – 180 с.
4. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов., 1972. – 470 с.
5. Blair-Fish P. M. Flow Patterns and Wall Stresses in a Mass-Flow Bunker / P. M. Blair-Fish, P. L. Bransby. // Manufacturing science and engineering. – 1973. – №95. – P. 17–26.
6. Бернштейн М. С. Форма истечения и давления зерна в силосах / М. С. Бернштейн. // Исследовательские работы по инженерным конструкциям. – 1949. – С. 139–168.
7. Богомяких В. А. Условия истечения сыпучих материалов из бункера / В. А. Богомяких, В. И. Приленский. // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. – 1969. – №12. – С. 147–152.
8. Богомяких В. А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В. А. Богомяких., 1973. – 148 с.
9. Ермакова И. А. Изменение механизма истечения сыпучего материала из бункера при использовании конических разделителей потока / И. А. Ермакова. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2003. – №5. – С. 33–37.
10. Morrison H. L. A one-dimensional analysis of granular flow in bunkers / Morrison. // Chemical Engineering Science. – №33. – P. 241–251.
11. Perry M. G. Model studies of mass-flow bunkers: I. Development of the radio pill technique for dynamic pressure and velocity measurements / M. G. Perry, E. Rothwell, W. T. Woodfin. // Powder Technology. – 1975. – №12. – P. 51–56.
12. Perry M. G. Model studies of mass-flow bunkers II. Velocity distributions in the discharge of solids from mass-flow bunkers / M. G. Perry, E. Rothwell, W. T. Woodfin. // Powder Technology. – 1976. – №14. – P. 81–92.
13. Кенеман Ф. Е. Исследование вероятности сводообразования при свободном истечении сыпучих тел / Ф. Е. Кенеман, Н. Г. Залогин, О. С. Антошина. // Энерготехнологическое использование топлива. – 1963. – №5. – С. 145–151.
14. Голубков К. Н. Исследования явлений сводообразования материала на модели бункера / К. Н. Голубков. // Труды института УНИИПромедь. – 1963. – №7. – С. 149–154.
15. Диктерук М. Г. Исследование закономерностей движения сыпучих материалов в вертикальных ёмкостях (силосы/бункеры): мониторинг статического напряжённого состояния и анализ истечения по второй форме в общей постановке / М. Г. Диктерук, В. Т. Кравчук, А. С. Заслуженный. // Вісник ХНТУ. – 2018. – №3. – С. 55–73.
16. Добровольская С. Г. Теоретические расчеты по условиям устойчивого истечения разных видов зернового сыпучего материала из глубокого бункера / С. Г. Добровольская. // Научная молодежь — агропромышленному комплексу. – 2003. – №5. – С. 84–89.
17. Комченко Е. В. Совершенствование процесса истечения мелких сыпучих материалов из бункеров сельскохозяйственного назначения : дис. канд. техн. наук / Комченко Е. В., 2004. – 192 с.
18. Платонов Н. П. Пропускная способность выпускных отверстий силосов и бункеров / Н. П. Платонов. // Мукомольно-элеваторная промышленность. – 1958. – №8. – С. 28–30.
19. Скудина А. А. Влияние некоторых сводообразующих факторов на время истечения зерновых из бункера наибольшего расхода / А. А. Скудина, В. А. Богомяких. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2015. – №5. – С. 1–13.

20. Богомягих В. А. Влияние некоторых сводообразующих факторов на время истечения зерновых из бункера наибольшего расхода / В. А. Богомягих, А. А. Скудина. // Молодой ученый. – 2015. – №14. – С. 133–136.

References

1. Alferov K. V. Bunkery, zatvory i pitateli. Osnovy proektirovaniya i rascheta / K. V. Alferov., 1946. – 177 s.
2. Alferov K. V. Bunkernye ustanovki / K. V. Alferov, R. L. Zenkov., 1955. – 308 s.
3. Banit E. A. Issledovanie processa istecheniya sypuchih materialov iz otverstiya sosudov : dis. kand. tehn. nauk / Banit E. A., 1978. – 180 s.
4. Sedov L. I. Metodi podobie i razmernosti v mehanike / L. I. Sedov., 1972. – 470 s.
5. Blair-Fish P. M. Flow Patterns and Wall Stresses in a Mass-Flow Bunker / P. M. Blair-Fish, P. L. Bransby. // Manufacturing science and engineering. – 1973. – №95. – P. 17–26.
6. Bernshtejn M. S. Forma istecheniya i davleniya zerna v silosah / M. S. Bernshtejn. // Issledovatel'skie raboty po inzhenernym konstrukciyam. – 1949. – S. 139–168.
7. Bogomyagkih V. A. Usloviya istecheniya sypuchih materialov iz bunkera / V. A. Bogomyagkih, V. I. Prilenskij. // Voprosy mehanizacii i elektrifikacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva. – 1969. – №12. – S. 147–152.
8. Bogomyagkih V. A. Teoriya i raschet bunkerov dlya zernistykh materialov / V. A. Bogomyagkih., 1973. – 148 s.
9. Ermakova I. A. Izmenenie mehanizma istecheniya sypuchego materiala iz bunkera pri ispolzovanii konicheskikh razdelitelej potoka / I. A. Ermakova. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. – 2003. – №5. – S. 33–37.
10. Morrison H. L. A one-dimensional analysis of granular flow in bunkers / Morrison. // Chemical Engineering Science. – №33. – P. 241–251.
11. Perry M. G. Model studies of mass-flow bunkers: I. Development of the radio pill technique for dynamic pressure and velocity measurements / M. G. Perry, E. Rothwell, W. T. Woodfin. // Powder Technology. – 1975. – №12. – P. 51–56.
12. Perry M. G. Model studies of mass-flow bunkers II. Velocity distributions in the discharge of solids from mass-flow bunkers / M. G. Perry, E. Rothwell, W. T. Woodfin. // Powder Technology. – 1976. – №14. – P. 81–92.
13. Keneman F. E. Issledovanie veroyatnosti svodoobrazovaniy pri svobodnom istechenii sypuchih tel / F. E. Keneman, N. G. Zalogin, O. S. Antoshina. // Energotekhnologicheskoe ispolzovanie topliva. – 1963. – №5. – S. 145–151.
14. Golubkov K. N. Issledovaniya yavlenij svodoobrazovaniya materiala na modeli bunkera / K. N. Golubkov. // Trudy instituta UNIIPromed. – 1963. – №7. – S. 149–154.
15. Dikteruk M. G. Issledovanie zakonomernostej dvizheniya sypuchih materialov v vertikalnykh yomkostyakh (silosy/bunkery): monitoring staticheskogo napryazhyonnogo sostoyaniya i analiz istecheniya po vtoroj forme v obshej postanovke / M. G. Dikteruk, V. T. Kravchuk, A. S. Zasluzhennyj. // Visnik HNTU. – 2018. – №3. – S. 55–73.
16. Dobrovolskaya S. G. Teoreticheskie raschety po usloviyam ustojchivogo istecheniya raznykh vidov zernovogo sypuchego materiala iz glubokogo bunkera / S. G. Dobrovolskaya. // Nauchnaya molodezh — agropromyshlennomu kompleksu. – 2003. – №5. – S. 84–89.
17. Komchenko E. V. Sovershenstvovanie processa istecheniya melkikh sypuchih materialov iz bunkerov sel'skohozyajstvennogo naznacheniya : dis. kand. tehn. nauk / Komchenko E. V., 2004. – 192 s.
18. Platonov N. P. Propusknaya sposobnost' vypusknykh otverstij silosov i bunkerov / N. P. Platonov. // Mukomolno-elevatornaya promyshlennost'. – 1958. – №8. – S. 28–30.
19. Skudina A. A. Vliyanie nekotorykh svodoobrazuyushih faktorov na vremya istecheniya zernovykh iz bunkera naibolshego rashoda / A. A. Skudina, V. A. Bogomyagkih. // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE». – 2015. – №5. – S. 1–13.
20. Bogomyagkih V. A. Vliyanie nekotorykh svodoobrazuyushih faktorov na vremya istecheniya zernovykh iz bunkera naibolshego rashoda / V. A. Bogomyagkih, A. A. Skudina. // Molodoy uchenyj. – 2015. – №14. – S. 133–136.