

11. Bourges G., Medina M.A. Air-seeds flow analysis in a distributor head of an "air drill" seeder // Acta Horticulturae. – 2013. – 1008.34. – P. 259–264.
12. Sharafutdinov A.V. Obosnovanie konstruktivno-technologicheskikh parametrov raspreditel'nogo ustrojstva pnevmaticheskoy sistemy sejalki // Izv. Mezhdunar. akad. agrar. obrazovaniya. – 2013. – № 17. – S. 140–145.
13. Rahimov Z.S., Hlyzov N.T., Rahimov I.R. i dr. Obosnovanie parametrov pnevmaticheskoy sistemy transportirovaniya semjan i udobrenij pochvoobrabatyvajushhego posevnogo agregata // APK Rossii. – 2017. – Т. 24, № 1. – S. 91–104.



УДК 631.365.32

Л.О. Онхонова, Н.Е. Цыренов,  
И.Ю. Скрыбина

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ ТРЕХКАНАЛЬНОГО АЭРОЖЕЛОБА С ДАТЧИКОМ ДВИЖЕНИЯ

L.O. Onkhonova, N.E. Tsyrenov,  
I.Y. Skryabina

### PILOT STUDIES DURING THE WORK OF THREE-CHANNEL AERO TRENCH WITH MOTION SENSOR

**Онхонова Л.О.** – д-р техн. наук, проф. каф. «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: onkhonova47@mail.ru

**Цыренов Н.Е.** – канд. техн. наук, инженер каф. «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: onkhonova47@mail.ru

**Скрыбина И.Ю.** – асп. каф. «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: onkhonova47@mail.ru

**Onkhonova L.O.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair "Technological Machines and Equipment. Agroengineering" Eastern Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: onkhonova47@mail.ru

**Tsyrenov N.E.** – Cand. Techn. Sci., Chair "Technological Machines and Equipment. Agroengineering" Eastern Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: onkhonova47@mail.ru

**Skryabina I.Yu.** – Post-Graduate Student, Chair "Technological Machines and Equipment. Agroengineering" Eastern Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: onkhonova47@mail.ru

Большое значение для зернового производства имеет его послеуборочная обработка, в ряду процессов которой операции активного вентилирования имеют существенное значение. Известно, что операции активного вентилирования осуществляют установки стационарного, переносного, телескопического типов. Однако эти установки не приспособлены разгружать зерно и транспортировать его на другие операции, например очистку или сушку. К перспективным установкам, одинаково выполняющим и активное вентилирование, и разгрузку используемым для этих целей нагнетаемым воздухом, являются аэрожелоба, в частности трехканальной конструкции. Цель исследования: проверка работоспособности аэрожелоба с датчиком в режиме активного вентилирования и пневмовыгрузки. Задачи исследований: 1) проверить работоспособность установки с датчиком движения в двух режимах; 2) исследовать равномерность воздухораспределения при разгрузке; 3) исследовать производительность пневмовыгрузки зерновой массы. В статье приводится конструкция трехканального аэрожелоба с новым конструктивным элементом в виде датчика движения зерна. Разработка и исследование его работоспособности произведены в Восточно-Сибирском университете

технологий и управления. Для исследования были использованы зерновые материалы (пшеница, овес, ячмень, имеющие влажность соответственно 19, 20 и 18 %). Установка имела габариты 3,0 × 0,5 × 1,0 м с размерами бункера 2,0 × 0,5 × 1,0 м, длиной каналов 2,0 м, шириной основного транспортирующего канала 0,2 м, шириной боковых каналов 0,15 м. Материал изготовления аэрожелоба и его деталей – тонколистовая оцинкованная жельсть. Установлена работоспособность аэрожелоба с датчиком движения в двух режимах. Определено, что производительность разгрузки стабильна с датчиком движения, составляя в начале разгрузки 1,5 кг/с, к концу – 1,15 кг/с. Исключен непроизводительный расход воздуха, соответственно уменьшен расход электроэнергии. Установлено равномерное распределение изобар в зерновой массе и по длине, и по ширине аэрожелоба. Установлена стабильность производительности разгрузки, равномерность распределения изобар статического давления, что свидетельствует о равномерности воздухораспределения в зерновой массе и по длине, и по ширине зерновой массы.

**Ключевые слова:** трехканальный аэрожелоб, датчик движения, активное вентилирование, зерновая масса.

*Its postharvest processing among which the processes of operation of active aeration have essential value is of great importance for grain production. It is known that operations of active aeration are carried out by installations of stationary, figurative, telescopic types. However, these installations are not adapted to unloading grain and to transporting it on other operations, for example cleaning or drying. To perspective installations equally carrying out both active aeration, and unloading by forced air are used for these purposes, aero trenches, in particular three-channel design. The research objective was to check the operability of aero trench with the sensor in the mode of active aeration and pneumounloading. The research problems were: 1) to check operability of installation with the motion sensor in two modes; 2) to investigate the uniformity of air distribution when unloading; 3) to investigate the productivity of pneumounloading of grain weight. The design of a three-channel aero trench with a new constructive element in the form of grain motion sensor is given in the study. The development and research of its working capacity are made at the East Siberian University of Technology and Management. For the research grain materials (wheat, oats and barley having humidity respectively 19, 20 and 18 %) were used. The installation had dimensions  $3.0 \times 0.5 \times 1.0$  m with sizes of bunker of  $2.0 \times 0.5 \times 1.0$  m, the channels of 2.0 m long, the width of the main transporting channel of 0.2 m, lateral canals 0.15 m wide. The material of production of aero trench and its details is a thin-sheet galvanized tin. The operability of aero trench with motion sensor in two modes is established. It is defined that the productivity of unloading is stable with the motion sensor, making at the beginning of unloading 1.5 kg/s, by the end – 1.15 kg/s. Unproductive consumption of air is excluded, the electric power expense is respectively reduced. Uniform distribution of isobars in grain weight both on length, and on aero trench width is established. Stability of productivity of unloading, uniformity of distribution of isobars of static pressure testify to the uniformity of air distribution in grain weight both on length, and on width of grain weight is established.*

**Keywords:** triple aero trench, motion sensor, active aeration, grain weight.

**Введение.** В послеуборочный период, при интенсивном поступлении валового количества зерна особое значение приобретает активное вентилирование, проводимое с профилактической целью снижения температуры и влажности материала. Для охлаждения зерна до температуры  $10-0$  °C применяют наружный воздух, преимущественно в ночное время суток [1, 2].

Аэрожелоба, кроме возможностей приема зернового вороха, могут не только вентилировать зерновую массу с целью снижения ее температуры, предотвращать самосогревание, обеспечивать качественные показатели продукции, но и выполнять разгрузку. Секционное выполнение конструкции аэрожелобов позволяет легко монтировать и демонтировать их с целью переноса из одного зернохранилищного объекта в другой.

В аэрожелобах перемещение сыпучего материала происходит в основном под действием кинетической энергии струй воздуха, выходящих из отверстий решетки, и направления в сторону движения слоя; обеспечивается

транспортирование материала не только при уклоне воздухораспределительной решетки, но и при ее горизонтальном положении.

На основе результатов исследований аэрожелобов предложена конструкция трехканального аэрожелоба с основным транспортирующим и двумя боковыми воздухораспределительными каналами, снабженными перфорированными перегородками с разным коэффициентом живого сечения. Внутри основного транспортирующего канала устроены датчики движения воздушного потока с механизмом поворота жалюзийных пластин [4]. Жалюзийные пластины действуют в режимах «открыто» и «закрыто». В режиме «открыто» они имеют возможность направлять воздушный поток совместно с зерном к выходному отверстию. В режиме «закрыто» воздушный поток не может проходить через отверстия в перфорированной перегородке.

**Цель исследования:** проверка работоспособности аэрожелоба с датчиком в режиме активного вентилирования и пневмовыгрузки.

Для достижения цели исследования поставлены следующие задачи:

- 1) проверить работоспособность установки с датчиком движения в двух режимах;
- 2) исследовать равномерность воздухораспределения при разгрузке;
- 3) исследовать производительность пневмовыгрузки зерновой массы.

**Материалы и методы исследования.** Материалом для исследования послужил трехканальный аэрожелоб с датчиком движения (рис. 1) и зерновые материалы (пшеница, овес, ячмень, имеющие влажность 19, 20 и 18 % соответственно).

Установка имела габаритные размеры  $3,0 \times 0,5 \times 1,0$  м с размерами бункера  $2,0 \times 0,5 \times 1,0$  м; длиной каналов 2,0 м; шириной основного транспортирующего канала 0,2 м; шириной боковых каналов 0,15 м. Материал изготовления аэрожелоба и его деталей – тонколистовая оцинкованная жель.

Установка содержит бункер 1, транспортирующий основной 2 и боковые 3 воздухораспределительные каналы. Каналы 2 и 3 снабжены перфорированными решетками соответственно 4 и 5. Перфорированные решетки 4 основного и 5 боковых воздухораспределительных каналов закреплены на раме 6. Воздушные заслонки 5 и 6 перекрывают поперечное сечение каналов и открываются по мере необходимости. Под рамой 6 установлено устройство для регулирования воздушного потока, выполненное в виде установленных друг за другом нескольких горизонтальных жалюзи 7. Каждое жалюзи 7 содержит набор поперечных пластинок 8, расположенных перпендикулярно движению сыпучего материала. Пластины 8 каждого жалюзи соединены с механизмом 9 поворота пластин, блок управления которого соединен с датчиком 10 движения сыпучего материала, закрепленного под решеткой 4 основного канала 2. Количество датчиков 10 соответствует количеству жалюзи 7. Механизм 9 расположен в конце каждого жалюзи. Пластины 8 установлены с возможностью поворота до  $90^\circ$ . Аэрожелоб снабжен вентилятором 11 и выгрузной заслонкой 12.

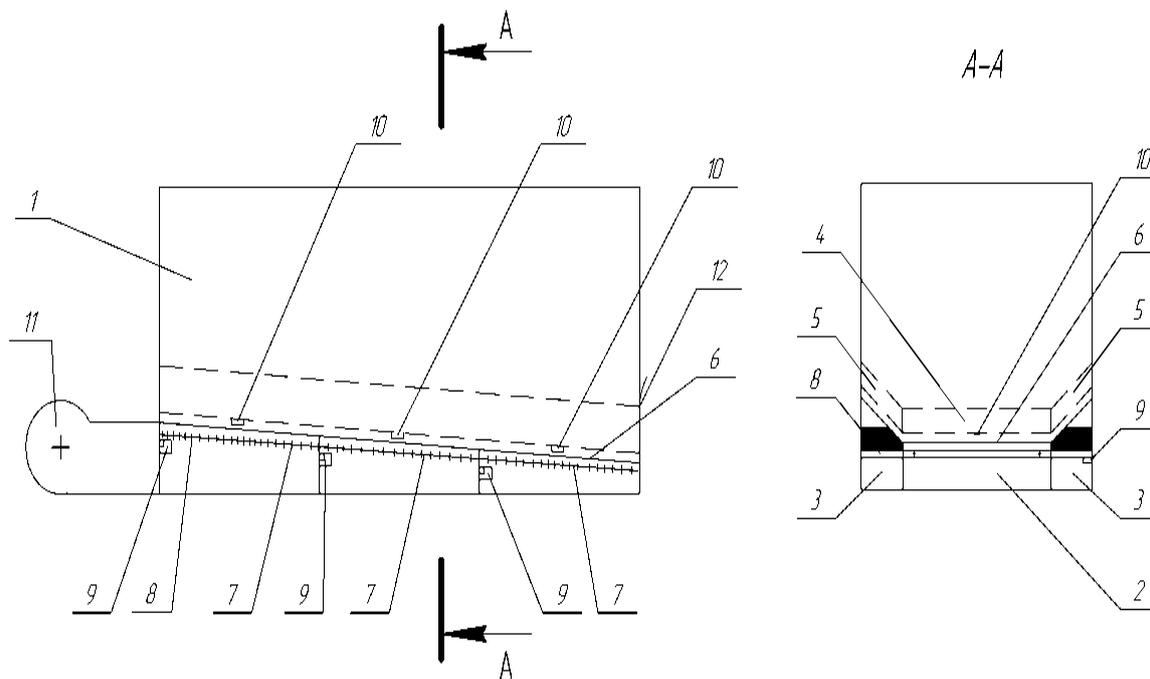


Рис. 1. Трехканальный аэрожелоб для активного вентилирования и транспортирования сыпучего материала: 1 – бункер; 2, 3 – основной и боковые воздухораспределительные каналы; 4, 5 – перфорированные решетки; 6 – рама; 7 – горизонтальное жалюзи; 8 – поперечные пластины; 9 – механизм поворота; 10 – датчик движения сыпучего материала; 11 – вентилятор; 12 – выгрузной люк

Наружные стенки боковых каналов приподняты и образуют угол наклона к горизонтали  $\beta = 45^\circ$ . Такой угол принят из-за возможности скольжения сыпучего материала по поверхности решетки до достижения угла естественного откоса.

Трехканальный аэрожелоб с датчиком движения работает следующим образом.

Исходный сыпучий материал загружают в бункер 1. Через вентилятор 11 воздушный поток поступает в основной воздухораспределительный канал 2 и воздухораспределительные боковые каналы 3. Воздух, проходя через перфорированные решетки 4 и 5, активно вентилирует и приводит к транспортированию материала за счет псевдооживления сыпучего материала. При загрузке сыпучего материала на решетку 4 срабатывают датчики 10 движения материала. Первое жалюзи 7, установленное в торцевой зоне аэрожелоба, находится в рабочем – открытом положении, пластины 8 повернуты на  $90^\circ$ , а следующие жалюзи закрыты, пластины 8 находятся в горизонтальном положении. Далее сыпучий материал под углом естественного откоса плавно перемещается по перфорированным решеткам 4 и 5, которые обдуваются воздушным потоком. При поступлении сыпучего материала на перфорированные решетки, под которыми расположено следующее жалюзи, срабатывает датчик движения 10 на этом участке, который передает сигнал на блок управления механизма 9. Пластины 8 плавно открываются от начала жалюзи, с открытием которых воздушный поток имеет возможность проходить через перфорированные решетки 4 и 5, обдувая сыпучий материал. Процесс повторяется на последующих жалюзи.

Трехканальный аэрожелоб работает в двух режимах. В режиме активного вентилирования функционируют все три воздухораспределительных канала. Открыты все три воздушные заслонки, выгрузная заслонка 8 закрыта. Бункер заполняется зерном от поверхности перфорированных решеток и до верха бункера. В зависимости от варианта эксперимента поверхность зерна может быть выровнена. С момента заполнения бункера 9 зерновым материалом включается вентилятор 10, и воздух нагнетается в зерновую насыпь, снизу вверх аэрируя ее.

Режим пневмовыгрузки происходит стадийно. Сначала при закрытии всех воздушных заслонок и открытии выгрузного отверстия происходит разгрузка под действием силы тяжести до угла естественного откоса. Разгружается примерно 45–50 % материала, большая его часть концентрируется в торце аэрожелоба.

В конце аэрожелоба некоторая часть перфорированной перегородки оголяется. Из трех воздушных заслонок открывается только заслонка транспортирующего канала. Затем включается вентилятор. Нагнетаемый воздух устремляется вдоль канала к концу аэрожелоба и выходит через свободные от материала отверстия, подхватывая зерна, находящиеся в зоне действия воздушного потока. Выходя через щели полусферической формы, воздух направленным потоком, получаемым благодаря отгибам, выполненным в отверстиях перфорированной перегородки, устремляется к выгрузному отверстию, увлекая за собой зерно, находящееся на транспортной поверхности. При этом все большая площадь отверстий оголяется.

При освобождении перфорированной решетки от зерна срабатывают датчики движения, соединенные с блоком управления, который регулирует механизм поворота пластин 9, посредством работы которого пластины 8 плавно закрываются, не допуская прохождения воздушного потока сквозь оголяемые отверстия. Такое действие датчики движения осуществляют по всей длине перфорированной решетки.

На практике, при большой длине перфорированной перегородки возможно, что зерно может перебрасываться на некоторое расстояние по длине, т. е. оно сразу не может выгрузиться из емкости. Тогда при его перемещении реагирует ближайший датчик движения, и блок управления механизмом поворота пластин 9 открывает пластины 8, направляя поток воздуха в нужном направлении, и цикл разгрузки повторяется. Устройство датчиков движения по всей длине аэрожелоба позволяет действовать только в

зоне нахождения сыпучего материала, направляя его к выгрузному отверстию, обеспечивая рациональный расход воздуха, что приводит к значительной экономии электроэнергии. Кроме этого, производительность выгрузки стабилизируется.

Следует сказать, что с включением вентилятора после достижения угла естественного откоса зерном разгрузка сопровождалась одновременно появляемыми стационарным неподвижным, аэрируемым и псевдооживленным слоями, каждый из которых имел свои параметры. Впервые о появлении таких слоев было отмечено в [3].

В существующих на сегодня трехканальных аэрожелобах был существенный недостаток, выражаемый в непроизводительном расходе воздуха, сопровождаемым значительным расходом электроэнергии. Этот факт объясняется следующим образом. На рисунке 2 представлен воздухораспределительный транспортирующий канал.

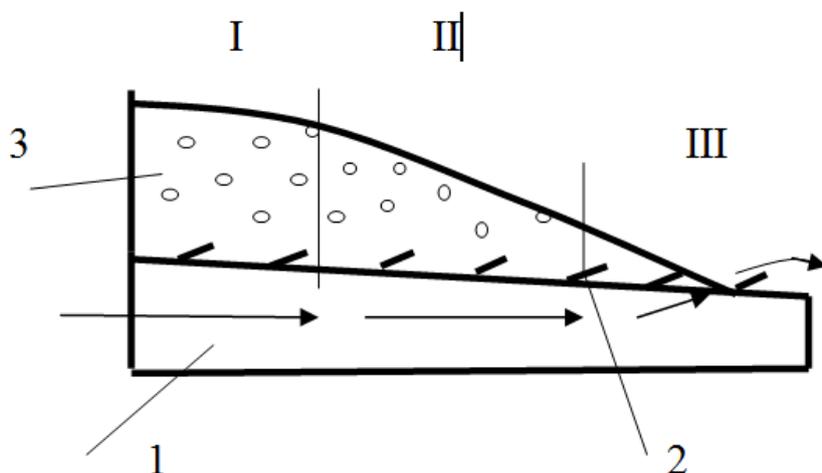


Рис. 2. Схема разгрузки зерна: 1 – воздухораспределительный транспортирующий канал; 2 – щели в перфорированной перегородке; 3 – зерновая насыпь после достижения угла естественного откоса; I, II, III – зоны разгрузки

Нагнетаемый воздух устремляется в концевую часть аэрожелоба, где сопротивление наименьшее, и постепенно увлекает все меньшее количество зерна. Таким образом, объясняется, почему в начальный период разгрузки производительность максимальная, а к концу она минимальная.

С целью исключения такого недостатка было предложено установить датчики движения зерна, работа которых описана выше.

Производительность аэрожелоба от влияния плотности зерна изучали на ворохе овса с влажностью  $W = 20\%$ . Вполне понятно, что чем выше плотность, тем больше производительность. Опыты были необходимы для определения степени в симплексе  $(\rho_T/\rho_B)^m$  в критериальной формуле по определению производительности. С целью получения данных плотность вороха искусственно повышалась, для чего в ворох добавлялись чистые зерна пшеницы.

Анализ графика на рисунке 3 подтверждает, что производительность аэрожелоба зависит от плотности разгружаемого материала. С установкой датчика движения стабилизировалась производительность выгрузки, которая в начале процесса составила  $\sim 1,5$  кг/с, к концу разгрузки средняя производительность составила  $\sim 1,15$  кг/с (рис. 4).

Были проведены замеры значений влажности по толщине зерновой насыпи в начальные периоды активного вентилирования через 10 мин после включения вентилятора. Наиболее высокое значение влажности было отмечено после включения вентилятора. Наибольшее значение влажности было зафиксировано на поверхности у отметки 1 м, наименьшее – на поверхности решетки. Расхождение данных измерений влажности объясняется тем, что сьем влаги начинается у поверхности решетки, а влага мигрирует вверх под действием воздушного напора. На рисунках 5 и 6 представлены изобары статического давления в зерновой массе по длине и ширине аэрожелоба.

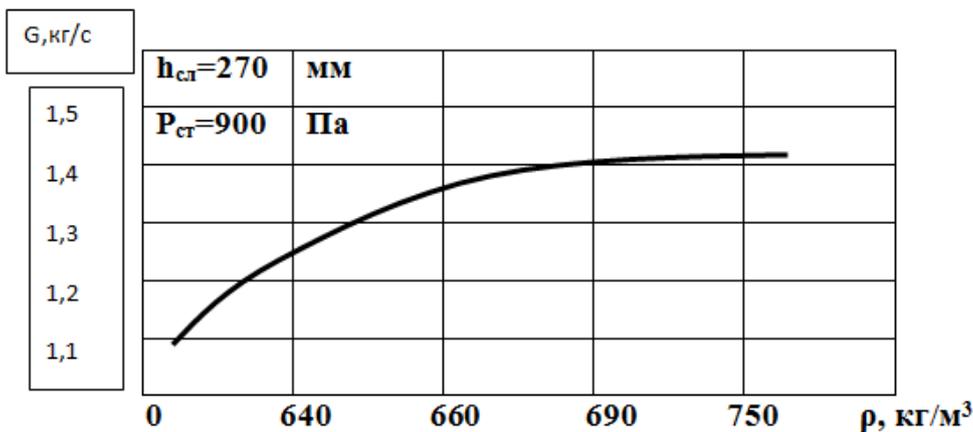


Рис. 3. Зависимость производительности разгрузки от плотности зернового слоя

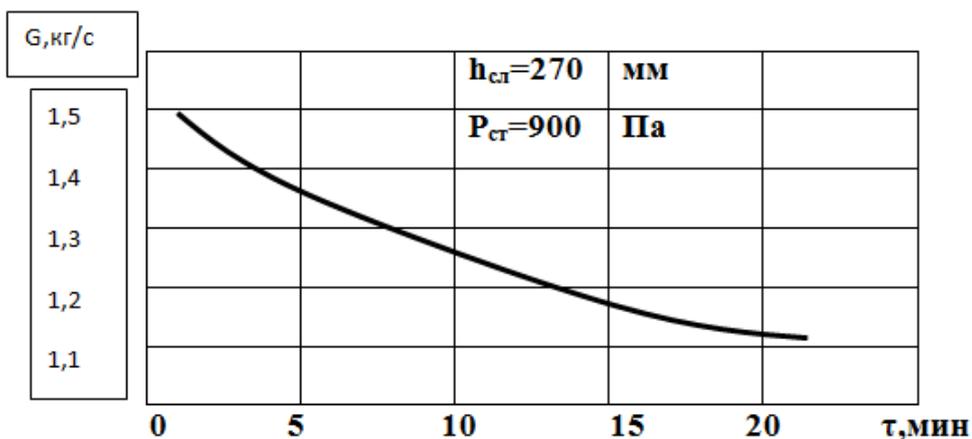


Рис. 4. Зависимость производительности разгрузки от времени процесса

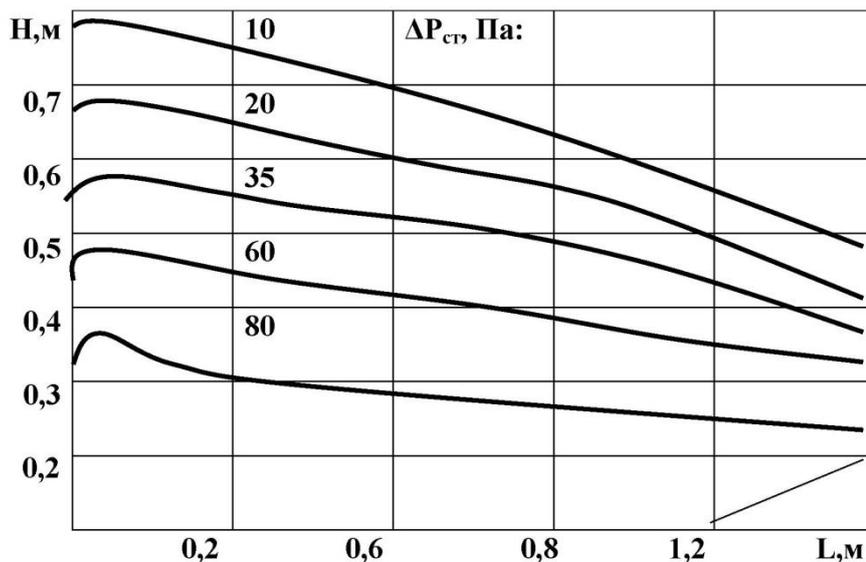


Рис. 5. Распределение изобар статического давления в зерновой массе по длине аэрожелоба

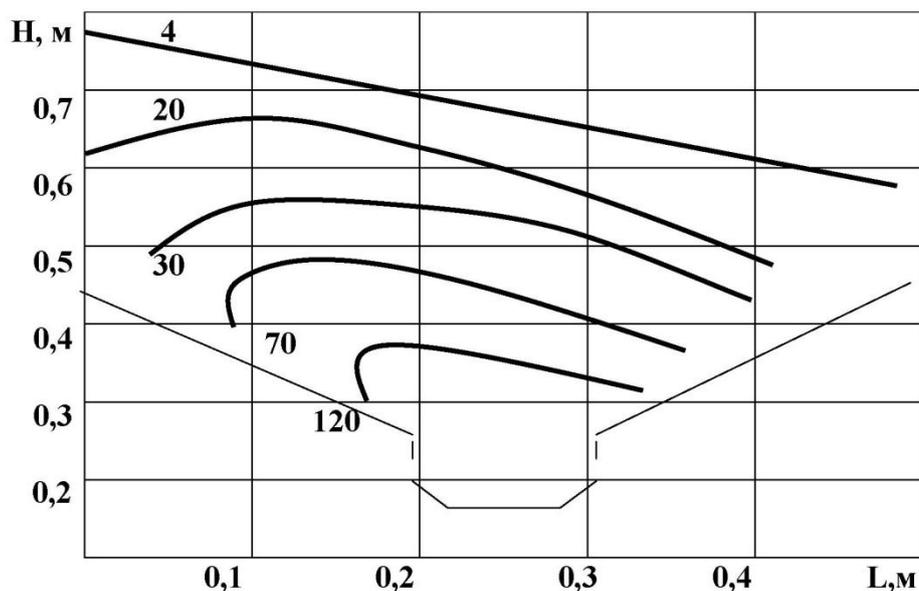


Рис. 6. Распределение изобар статического давления в зерновой массе по ширине аэрожелоба

Анализ кривых, представленных на рисунках 5 и 6, показывает равномерность воздухораспределения в зерновой массе, находящейся в аэрожелобе. Это значит, что установка датчиков движения в аэрожелобе не влияет на равномерность воздухораспределения в зерновой массе.

#### Выводы

1. Установлена работоспособность аэрожелоба с датчиком движения в двух режимах.
2. Установлено, что производительность разгрузки стабильна с датчиком движения, составляя в начале разгрузки 1,5 кг/с, к концу – 1,15 кг/с.
3. Исключен непроизводительный расход воздуха, соответственно уменьшен расход электроэнергии.
4. Установлено равномерное распределение изобар в зерновой массе и по длине, и по ширине аэрожелоба.

#### Литература

1. Анискин В.И. Консервация влажного зерна. – М.: Колос, 1968. – 286 с.
2. Анискин В.И., Рыбарук В.А. Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием. – М.: Колос, 1972. – 200 с.

3. Онхонова Л.О. Научные основы создания и применения универсальных аэрожелобов в процессах послеуборочной обработки семян и зерна. – М.: Изд-во ВИМ, 2000. – 250 с.
4. Аэрожелоб для активного вентилирования и транспортирования сыпучего материала: пат. на полезную модель № 111012, РФ, МПК В65 53/20 (2006/01) / Онхонова Л.О., Скрябина И.Ю. – Оpubл. 01.12.2017, Бюл. № 34. – 2 с.

#### Литература

1. Aniskin V.I. Konservacija vlazhnogo zerna. – М.: Kolos, 1968. – 286 s.
2. Aniskin V.I., Rybaruk V.A. Teorija i tehnologija sushki i vremennoj konservacii zerna aktivnym ventilirovanijem. – М.: Kolos, 1972. – 200 s.
3. Onhonova L.O. Nauchnye osnovy sozdaniya i primeneniya universal'nyh ajerozhelobov v processah posleuborochnoj obrabotki semjan i zerna. – М.: Izd-vo VIM, 2000. – 250 s.
4. Ajerozhelob dlja aktivnogo ventilirovanija i transportirovanija sypučhego materiala: pat. na poleznuju model' № 111012, RF, MPK V65 53/20 (2006/01) / Onhonova L.O., Skryabina I.Ju. – Opubl. 01.12.2017, Bjul. № 34. – 2 s.