

ISSN 1561-8323 (Print)  
ISSN 2524-2431 (Online)

**АГРАРНЫЕ НАУКИ**  
**AGRARIAN SCIENCES**

УДК 621.86.04  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2023-67-1-83-88>

Поступило в редакцию 03.01.2023  
Received 03.01.2023

**Академик З. В. Ловкис**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,  
Минск, Республика Беларусь*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТА ПЛОДОВООВОЩНОГО СЫРЬЯ**

**Аннотация.** Проведены результаты исследования характеристик новых сортов плодов, корнеклубнеплодов, ягод и овощей, которые могут перемещаться в потоке жидкости. Изучено их взаимодействие с поверхностями трения лотков, изготовленных из различных строительных материалов. Установлены коэффициенты трения качения и скольжения плодов и овощей по смоченным поверхностям открытых каналов и лотков, которые могут быть использованы в гидравлических расчетах при определении основных параметров гидротранспортной установки.

**Ключевые слова:** гидротранспорт, коэффициент, трение, плоды и овощи, расчет, насос, вода, твердость

**Для цитирования.** Ловкис, З. В. Экспериментальное определение параметров системы гидротранспорта плодово-овощного сырья / З. В. Ловкис // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2023. – Т. 67, № 1. – С. 83–88. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2023-67-1-83-88>

**Academician Zenon V. Lovkis**

*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food, Minsk, Republic of Belarus*

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PARAMETERS  
OF THE HYDRAULIC TRANSPORT SYSTEM OF FRUIT AND VEGETABLES**

**Abstract.** The results of study of the characteristics of new varieties of fruits, root crops, berries, and vegetables that can move in the fluid flow are obtained. Their interaction with the friction surfaces of trays made of various building materials has been studied. The friction coefficients of rolling and sliding of fruits and vegetables on the wetted surfaces of open channels and trays have been established. They can be used in hydraulic calculations when determining the main parameters of a hydraulic transport installation.

**Keywords:** hydraulic transport, coefficient, friction, fruits and vegetables, calculation, pump, water, hardness

**For citation.** Lovkis Z. V. Experimental determination of the parameters of the hydraulic transport system of fruit and vegetables. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2023, vol. 67, no. 1, pp. 83–88 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2023-67-1-83-88>

**Введение.** В установках гидравлического транспорта нерастворимый продукт перемещается по трубопроводам или открытым желобам (лоткам) в потоке жидкости, как правило, воды. Для гидротранспорта могут применяться напорные и безнапорные установки, которые с успехом широко применяются в пищевой промышленности (мелкие составляющие могут помещаться в капсулы).

К достоинствам гидравлического транспорта относятся: высокая производительность и возможность транспортирования на большие расстояния без перегрузок; несложное оборудование; возможность совмещения транспортирования с технологическими процессами: герметичность трассы перемещения; отсутствие на трассе механического оборудования, за исключением ли-

нейных перекачивающих насосных станций; возможность полной автоматизации; невысокая трудоемкость; высокие экономические показатели.

Безнапорные установки, или гидравлические транспортеры (желоба) применяются для транспортирования огурцов, томатов, моркови, корнеплодов, гороха и других продуктов в смеси с водой к месту переработки из мест хранения. Для определения параметров дна и поперечного сечения желоба или открытого трубопровода необходимо учитывать характерные параметры транспортируемого материала: плотность, длину, ширину, толщину или эквивалентный диаметр продукта, коэффициент трения и состояние поверхности.

Однако несмотря на достаточную изученность характеристик плодов и овощей, коэффициентов трения качения и скольжения, в последнее время появились новые сорта продуктов с измененной структурой, плотностью и внешней поверхностью, поэтому необходимы дополнительные исследования и уточнения расчетных коэффициентов для практического применения, расчета и подбора элементов гидротранспорта.

**Материалы и методы исследования.** Параметры плодов, ягод, корнеклубнеплодов, овощей, рыбы, их размеры, плотность и насыпная плотность определялись с применением средств измерений (линейка, штангенциркуль), лабораторных весов и мерной емкости.

Твердость поверхности продукта является главным критерием при транспортировке, во избежание повреждения при всех соответствиях других показателей стандарту. Твердость  $H$  ( $\text{Н/м}^2$ ) характеризует продукт по прочностным свойствам.

Измерение твердости продукции осуществляли при помощи прибора для измерения твердости органических сред (Ревякина–Горячкина). Подпружинный наконечник площадью  $S$  ( $\text{м}^2$ ) с жесткостью пружины  $C$  ( $\text{н/м}$ ) внедрялся на глубину  $h$  ( $\text{м}$ ). По полученной диаграмме определяли твердость  $H$  ( $\text{н/м}^2$ ):

$$H = Ch / S.$$

Данные приведены в табл. 1 [1].

Т а б л и ц а 1. Характеристика транспортируемого сырья по открытым системам  
T a b l e 1. Characteristics of transported raw materials by open systems

Продукт Product	Размер продукта (длина, ширина, толщина или эквивалентный диаметр), мм Product size (length, width, thickness or equivalent diameter), mm	Плотность, $\text{кг/м}^3$ Density, $\text{kg/m}^3$	Насыпная масса, $\text{кг/м}^3$ Bulk weight, $\text{kg/m}^3$	Твердость поверхности, МПа Surface hardness, MPa
Горошек зеленый	Ø5–9	1050–1100	450–650	0,8–1,0
Огурец	Длина 30–140 Ø до 50	1020–1080	600–750	0,9–1,1
Картофель	Ø40–100	1100–1150	650–780	1,0–1,2
Морковь	Длина 60–160 Ø25–80	1070–1150	650	0,9–1,2
Рыба: мелкая; средняя; крупная	60 × 10 × 8 250 × 60 × 40 400 × 100 × 80	1050–1200	650–850	0,6–0,8
Свекла	Ø50–150	1100	650–780	1,0–1,3
Томаты	Ø30–80	1015–1030	585–780	0,8–1,0
Яблоки	Ø45–90	1030–1050	585–650	1,0–1,2
Клюква, голубика	Ø5–15	980–1012	400–600	0,85–1,1

Коэффициент трения скольжения  $f_n = \text{tg } \alpha_n$  транспортируемого продукта по поверхностям, изготовленным из различных материалов, определяли на лабораторной экспериментальной установке, основными элементами которой являлись основание и исследуемая поверхность лотка, установленного под углом  $\alpha$  к горизонту. Угол  $\alpha$  для исследуемых элементов продукт–поверхность фиксировали угломером в момент начала движения продукта по поверхности. Полученные средние значения коэффициентов трения скольжения продуктов по сухой и смоченной поверхности материала приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты трения скольжения продукта по поверхности  
T a b l e 2. Coefficients of sliding friction of the product on the surface

Продукт Product	Вид поверхности трения Type of friction surface											
	сталь оцинкованная galvanized steel		стекло рифленое corrugated glass		сталь нержавеющая stainless steel		лоток асбестоце- ментный asbestos-cement tray		сталь черная black steel		пластмасса plastic	
	сухая dry	смоченная wetted	сухая dry	смоченная wetted	сухая dry	смоченная wetted	сухая dry	смоченная wetted	сухая dry	смоченная wetted	сухая dry	смоченная wetted
Яблоко	0,404 0,466	0,344 0,364	0,268 0,306	0,213 0,249	0,488 0,532	0,364 0,404	0,424 0,445	0,325 0,344	0,287 0,364	0,231 0,287	0,466 0,488	0,268 0,325
Груша	0,424 0,488	0,306 0,325	0,325 0,364	0,268 0,287	0,445 0,488	0,325 0,364	0,727 0,839	0,466 0,51	0,424 0,466	0,364 0,404	0,424 0,466	0,268 0,306
Цитрусовые	0,325 0,364	0,268 0,287	0,268 0,306	0,231 0,249	0,268 0,325	0,231 0,268	0,344 0,364	0,268 0,325	0,268 0,325	0,213 0,268	0,325 0,364	0,213 0,268
Капуста	0,532 0,577	0,445 0,488	0,488 0,532	0,364 0,404	0,649 0,7	0,445 0,51	0,781 0,839	0,577 0,625	0,532 0,625	0,404 0,424	0,445 0,466	0,404 0,445
Огурец	0,781 0,839	0,532 0,625	0,532 0,577	0,577 0,7	0,577 0,625	0,532 0,577	0,649 0,7	0,7 0,839	0,781 0,839	0,649 0,7	0,675 0,7	0,488 0,532
Морковь	0,675 0,727	0,577 0,625	0,488 0,532	0,445 0,466	0,649 0,7	0,488 0,532	0,675 0,727	0,577 0,577	0,577 0,625	0,488 0,51	0,51 0,554	0,424 0,466
Картофель	0,51 0,554	0,445 0,466	0,532 0,577	0,51 0,532	0,532 0,577	0,445 0,488	0,7 0,754	0,625 0,625	0,532 0,577	0,445 0,466	0,466 0,577	0,466 0,51
Ягода												
Калина	0,466 0,51	0,424 0,466	0,424 0,466	0,404 0,445	0,466 0,488	0,384 0,424	0,839 0,9	0,7 0,727	6,7 0,781	0,554 0,625	0,532 0,577	0,466 0,51
Виноград	0,424 0,466	0,404 0,445	0,384 0,445	0,344 0,364	0,325 0,364	0,287 0,325	0,532 0,625	0,488 0,51	0,466 0,51	0,404 0,424	0,364 0,404	0,287 0,325

**Результаты и их обсуждение.** Полученные экспериментальные данные, характеристики овощного, плодового, ягодного сырья и рыбы: параметры (длина, ширина, толщина), плотность, насыпная масса, твердость поверхности и коэффициент трения скольжения являются основными, которые необходимы для расчета и проектирования гидравлических транспортных систем [2].

Гидравлический транспорт рассчитываем на основании уравнения неразрывности потока жидкости [2]

$$Q = Sv,$$

где  $Q$  – секундный расход жидкости (объем смеси (продукт + вода)), м<sup>3</sup>/с;  $S$  – площадь поперечного сечения потока, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость движения потока, м/с.

Секундный объем смеси, перемещаемой гидравлическим транспортером в открытом русле, можно определить по формуле [2]

$$Q = (W + q) / \rho,$$

где  $W$  – секундный расход воды, кг/с;  $q$  – секундный расход продукта, кг/с;  $\rho$  – удельная плотность гидросмеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho = 890\text{--}1130$  кг/м<sup>3</sup>. Формулу можно преобразовать

$$Q = \frac{q \left( \frac{W}{q} + 1 \right)}{\rho};$$

$$\rho = \frac{\rho_{\text{т}} + \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}},$$

где  $\rho_{\text{т}}$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Отношение  $W / q = m$ , показывающее, во сколько раз в смеси больше воды, чем транспортируемого продукта, назовем коэффициентом кратности.

Из уравнения Шези [2; 3]

$$v = C\sqrt{Ri},$$

уклон желоба

$$i = \frac{v^2}{C^2 R} \leq \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $C$  – скоростной коэффициент, учитывающий сопротивления, возникающие при движении потока гидросмеси;  $R$  – гидравлический радиус, равный отношению площади залитого сечения желоба  $S$  к длине смоченного периметра  $P$ ;  $R = S / P$ ;  $i$  – уклон желоба, м/м пог.

Расчет значений коэффициента  $C$  может быть проведен по формуле Маннинга [2]

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6},$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости поверхности (табл. 3) [2].

Т а б л и ц а 3. Значения коэффициента шероховатости поверхности ( $n$ )

T a b l e 3. Values of the surface roughness coefficient ( $n$ )

Вид поверхности Surface type	Значение коэффициента Coefficient value
Обстроганные доски, хорошо пригнанные	0,009
Цементная поверхность	0,010
Бетонная поверхность	0,011
Нестроганные доски	0,012
Тесовая кладка, хорошая кирпичная кладка	0,013
Кирпичная кладка, бетонировка	0,014–0,015
Старая кирпичная или бутовая кладка	0,017–0,020
Поверхность, покрытая пластмассой	0,007–0,008

На основании проведенных исследований показателей коэффициентов трения и согласно формулам расчета получены и приведены в табл. 4 рекомендуемые данные для определения параметров открытых лотков гидротранспорта: гидравлического уклона, величины кратности расхода воды для различных видов транспортируемого сырья и скорости движения гидросмеси.

Т а б л и ц а 4. Рекомендуемые данные для расчета гидротранспорта

T a b l e 4. Recommended data for the calculation of hydraulic transport

Продукт Product	Уклон на участках, м/м Slope on sections, m/m		Коэффициент кратности расхода воды, кг/кг продукта Multiplicity factor of water consumption, kg/kg of product	Скорость движения гидросмеси в желобе, м/с The speed of movement of the slurry in the chute, m/s
	прямых straight lines	закругленных rounded		
Томаты, яблоки	0,008–0,01	0,012–0,015	3–5	0,7–0,8
Свекла и другие корнеплоды	Не менее 0,012	0,015–0,015	4–6	0,65–1,0
Зеленый горошек	0,01–0,015	0,015–0,02	3–5	Не менее 0,6
Рыба	0,01–0,02	0,015–0,025	6–8	0,5–2,0

Уклон желобов для транспортировки корнеплодов, ягод, овощей может составлять 8–12 мм на 1 пог. метр длины транспортера.

Для нормальной эксплуатации гидравлических транспортеров радиусы закруглений должны быть не меньше 2,5–3,0 м, а расчетный уклон желоба должен точно выдерживаться по всей длине транспортера. Кроме того, воду в гидравлический транспортер следует подавать с определенной скоростью, обеспечивающей скорость движения гидросмеси в желобе. Дно желоба транспортера необходимо расположить на 200 мм выше уровня воды в моечной машине. В условиях консервных заводов ширина русла гидравлического транспортера может быть 180–400 мм, глубина – 350–700 мм.

Принципиальная схема установки безнапорного гидротранспорта показана на рисунке. Основными ее элементами являются гидротранспортер 3 в виде лотка, желоба или канала, устройство 2 для загрузки твердого материала в гидротранспортер, водопровод для подачи обратной воды от емкости 5 через фильтр 6 с помощью центробежного насоса в головную часть гидротранспортера и приемного устройства 4, в котором вода отделяется от твердого материала [4].

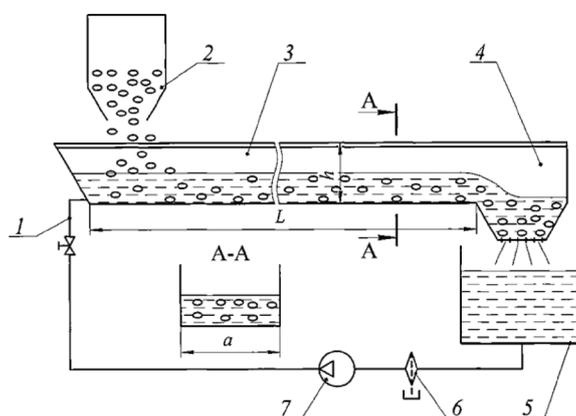


Схема установки безнапорного гидротранспорта  
Scheme of installation of non-pressurized hydraulic transport

Такого типа установки широко применяются на свеклосахарных заводах для подачи свеклы, на картофелеперерабатывающих заводах для подачи картофеля, на консервных заводах для транспортирования моркови, помидор, яблок и т. п. Гидравлическими транспортерами на свеклосахарных заводах свекла перемещается с кагатных полей к главному корпусу сахарного завода. Гидравлический транспортер состоит из полевых, сборных и главных гидравлических транспортеров. Полевые лотки перекрывают специальными щитами, на которые укладывают кагаты свеклы. Под каждым кагатом обычно расположен один лоток. Полевые лотки сопрягаются со сборными уступом высотой 300–500 мм для предотвращения затопления водой неработающих полевых лотков.

Уклон желоба должен обеспечить движение в нем гидросмеси со скоростью не менее 1 м/с. Весовая консистенция смеси, как показал опыт эксплуатации установок, должна составлять (1 : 4)–(1 : 7) (свекла–вода).

Для предотвращения затопления неработающих желобов водой из магистрального канала боковые желоба сопрягаются с магистральным уступом высотой 300–500 мм, имеющим вид небольшого быстрого тока.

Обычно принимаются желоба с закругленными углами прямоугольного сечения. Во избежание закупорки желоба свеклой ширина его принимается не менее  $a = 350$  мм.

Широко применяется также безнапорное гидротранспортирование при подаче картофеля с буртового поля в цеха картофелеперерабатывающих и крахмальных заводов. Гидротранспортеры в этом случае могут быть как одиночными, так и групповыми.

Уклон желоба на прямых участках должен составлять  $i = 0,008–0,012$ , а на закруглениях  $i = 0,01–0,015$  мм. Радиусы закруглений принимаются не менее  $R > 3$  м.

Желоба изготавливают прямоугольного сечения с плинтусами, доски с внутренней стороны тщательно остругивают и соединяют в шпунт или в четверть. Бетонные и кирпичные желоба штукатурят цементным раствором и гладко затирают. Бетонные желоба чаще всего изготавливают прямоугольного сечения с полукруглым или плоским основанием. Так как нижняя часть их часто засоряется, рекомендуется выполнять желоба прямоугольного сечения с округленными углами.

Металлические желоба изготавливают из листовой стали толщиной 4–5 мм и, как правило, прямоугольного сечения с полукруглым или плоским основанием и округленными углами. Ширина желоба при гидротранспортировании картофеля должна быть не менее  $a = 180$  мм, высота берется равной двойной ширине желоба.

На некоторых заводах применяется безнапорное гидротранспортирование жома в металлических или цементных лотках. Уклон лотков при этом принимается равным  $i = 0,06–0,08$ , а консистенция смеси 1 : 2.

Корнеплоды подаются в лотки после подрыва щитов частично самотеком (15–25 %), бульдозером, тракторной лопатой, а также конвейерным свеклоподавателем.

Для обеспечения равномерной подачи свеклы применяются регуляторы, представляющие собой колеса-турникеты, пропускающие воду, но задерживающие излишки свеклы сверх требуемого количества для нормального хода процесса на заводе. Для прекращения подачи свеклы в лотках устанавливаются решетчатые затворы, а для улавливания камней, песка, мусора и т. д. устанавливаются камнеловушки и солоمولовушки, принцип действия которых основан на гидравлическом разделении смеси на фракции по удельному весу.

Применяется также гидравлический способ разгрузки свеклы из вагонов. Под действием сильной водяной струи свекла с потоком воды поступает в гидротранспортер, расположенный рядом с вагоном.

В практике гидротранспортирования могут применяться разнообразные схемы установок, любая установка обязательно будет состоять из устройства для приготовления и подачи гидро-смеси, устройства по созданию напора, под воздействием которого гидросмесь должна перемещаться по желобу, и самого гидравлического транспортера [4].

**Заключение.** По результатам экспериментальных исследований получены новые данные о характеристиках картофеля, плодов, ягод и овощей; прочности поверхности; коэффициентов трения качения и скольжения, на основании которых с использованием гидравлических расчетов приведены рекомендуемые данные для определения параметров гидротранспорта.

#### Список используемых источников

1. Ловкис, З. В. Необходимость введения дополнительного показателя качества для огурцов маринованных / З. В. Ловкис, С. А. Арнаут // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2011. – № 4 (14). – С. 86–91.
2. Ловкис, З. В. Гидравлика / З. В. Ловкис. – Минск, 2012. – 439 с.
3. Ловкис, З. В. Гидравлика / З. В. Ловкис, Б. А. Карташов, П. В. Лаврухин. – Ростов н/Д, 2019. – 383 с.
4. Ловкис, З. В. Исследование и расчет безнапорного гидротранспорта плодоовощного сырья / З. В. Ловкис, В. В. Чуешков // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2012. – № 2 (16). – С. 50–55.

#### References

1. Lovkis Z. V., Arnaut S. A. The Necessity of introducing additional indicator of quality for pickled cucumbers. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food industry: science and technology*, 2011, no. 4 (14), pp. 86–91 (in Russian).
2. Lovkis Z. V. *Hydraulics*. Minsk, 2012. 439 p. (in Russian).
3. Lovkis Z. V., Kartashov B. A., Lavrukhin P. V. *Hydraulics*. Rostov on Don, 2019. 383 p. (in Russian).
4. Lovkis Z. V., Chueshkov V. V. Research and calculation of unpressure head hydrotransport fruit and vegetable raw materials. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food industry: science and technology*, 2012, no. 2 (16), pp. 50–55 (in Russian).

#### Информация об авторе

Ловкис Зенон Валентинович – академик, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник. НПЦ НАН Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lovkis\_zv@mail.ru.

#### Information about the author

Lovkis Zenon V. – Academician, D. Sc. (Engineering), Professor, Chief Researcher. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food (29, Kozlov Str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lovkis\_zv@mail.ru.