

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

З. В. ЛОВКИС

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: Lovkis\_zv@mail.ru

М. А. КУЛАГА

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: mksm1989@yandex.ru

(Поступила в редакцию 02.07.2025)

Современный уровень развития животноводства в Республике Беларусь обеспечивает продовольственную безопасность страны, устойчивые темпы наращивания экспорта мясных продуктов питания.

По результатам анализа статистических материалов у нас в стране достигнут высокий уровень производства мяса на душу населения – свыше 135 кг, а самообеспечение по мясу составляет свыше 130 %, потребляется же человеком в среднем 98 кг/год.

Дальнейшее устойчивое развитие производства комбикормов и премиксов позволяет обеспечить отрасль кормами высокого качества, а эффективное использование кормов позволяет повысить продуктивность животных и достичь плановых показателей, для свиней прирост живой массы – 600 г/сутки.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований потерь давления в гидротранспортной системе при перекачке жидкости, насыщенной пузырьками воздуха. Разработана схема установки, включающая центробежный насос, полиэтиленовые трубопроводы различных диаметров, датчик давления «Сенсор-М» и ротаметр F-12 для регулировки подачи воздуха. Установлено, что увеличение диаметра трубопровода снижает гидравлическое сопротивление, а рост содержания воздуха в смеси способствует уменьшению потерь напора. Полученные зависимости позволяют оптимизировать параметры гидротранспорта для снижения энергозатрат и повышения эффективности кормления в условиях животноводческих комплексов. Результаты исследования имеют практическое значение для внедрения ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве, направленных на улучшение условий кормления с перспективой повышения продуктивности животных. Работа выполнена в лаборатории РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию» с использованием современного измерительного оборудования, обеспечивающего высокую точность измерений.

**Ключевые слова:** комбикорм, трубопровод, гидротранспорт, свиноводство, продуктивность, гидравлика, оптимизация параметров, оксигенация кормов.

The current level of livestock development in the Republic of Belarus ensures food security of the country, sustainable growth rates of meat food exports.

According to the results of the analysis of statistical materials, our country has achieved a high level of meat production per capita - over 135 kg, and self-sufficiency in meat is over 130%, while a person consumes an average of 98 kg / year.

Further sustainable development of the production of compound feed and premixes allows us to provide the industry with high-quality feed, and the efficient use of feed allows us to increase animal productivity and achieve planned indicators, for pigs, the live weight gain is 600 g / day.

The article presents the results of experimental studies of pressure losses in a hydrotransport system when pumping liquid saturated with air bubbles. A setup diagram has been developed that includes a centrifugal pump, polyethylene pipelines of various diameters, a Sensor-M pressure sensor, and an F-12 rotameter for regulating air supply. It has been established that an increase in the pipeline diameter reduces hydraulic resistance, and an increase in the air content in the mixture helps to reduce pressure losses. The obtained dependencies allow optimizing the hydraulic transport parameters to reduce energy costs and improve feeding efficiency in livestock complexes. The results of the study are of practical importance for the introduction of resource-saving technologies in agriculture aimed at improving feeding conditions with the prospect of increasing animal productivity. The work was carried out in the laboratory of the RUE "SPC of the NAS of Belarus for Food" using modern measuring equipment that ensures high measurement accuracy.

**Key words:** compound feed, pipeline, hydraulic transport, pig farming, productivity, hydraulics, parameter optimization, feed oxygenation.

### Введение

Последовательно реализуемые меры в области технической модернизации животноводства, снижение трудоемкости работ в области кормления обеспечат позитивное влияние на динамику развития отрасли, повышению ее эффективности [1].

Современное производство свинины требует инновационных решений для снижения трудоемкости при раздаче корма. Традиционные методы раздачи кормов часто сопряжены с потерями питательных веществ, неравномерным распределением и риском микробной контаминации. Применяемые современные гидротранспортные установки, обеспечивающие подачу корма в жидкой фазе, позволяют минимизировать процесс, а обогащение кормовых смесей кислородом (оксигенация) может улучшить аэробные условия в пищеварительном тракте, подавляя развитие патогенной микрофлоры и получить дополнительный эффект – прирост живой массы.

Уникальность данного исследования заключается в комбинированном анализе параметров гидротранспорта (потери давления, расход) при варьировании диаметра труб (40–63 мм) и содержания воздуха (0–40 %), что ранее не изучалось в контексте свиноводческих комплексов.

Цель исследований – изучение показателей гидротранспортной установки с оксигенацией, определение потерь напора и других энергетических параметров.

## Основная часть

Экспериментальные исследования были проведены в лаборатории РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию». Эксперименты проводились на изготовленной гидротранспортной установке с системой подачи кислорода в поток кормовой смеси (рис. 1). В установке применены: центробежный насос DPV 10-100 (производительность: 5–15 м³/ч, погрешность  $\pm 2\%$ ), трубопровод полиэтиленовый (диаметр 40–63), датчика давления «Сенсор-М» (диапазон: 0–1 МПа, точность  $\pm 0,5\%$ ), ротаметр F-12 (диапазон расхода воздуха: 0–20 л/мин, погрешность  $\pm 1,5\%$ ).

Каждый эксперимент повторялся 3 раза для обеспечения статистической достоверности. Погрешности измерений учтены методом стандартного отклонения.

Выращивание поросят – ответственный процесс, требующий внимания к деталям, особенно в вопросах кормления. Правильно составленный рацион не только ускоряет рост молодняка, но и укрепляет иммунитет, снижая риски заболеваний. Питание поросят делится на три ключевых периода, каждый из которых требует индивидуального подхода.

1. Молочный период (0–4 недели). В первые дни жизни основу рациона составляет материнское молоко, богатое антителами и питательными веществами. Однако уже на 5–7 день рекомендуется вводить прикорм для стимуляции пищеварительной системы. Используются престартерные корма с высоким содержанием протеина (18–20 %), лактозы и пробиотиков. Важно обеспечить мелкую фракцию гранул и легкую усвояемость.

К 3-й неделе доля прикорма увеличивается, а доступ к чистой воде становится обязательным. Это помогает избежать обезвоживания и подготавливает желудок к переходу на твердые корма.

2. Дорастивание (5–10 недель). После отъема от свиноматки поросята испытывают стресс, поэтому рацион должен быть максимально сбалансированным. Основу составляют стартерные комбикорма с добавлением злаков (кукуруза, ячмень), шрота подсолнечника и рыбной муки. На этом этапе важно контролировать уровень клетчатки – её избыток замедляет метаболизм.

Дополнительно вводятся витаминные комплексы (А, D, E) и минералы (железо, цинк), предотвращающие анемию и рахит. Для улучшения аппетита можно добавлять в корм небольшое количество натуральных ароматизаторов, например, яблочный жом.

3. Откорм (с 11 недель). На этапе интенсивного роста упор делается на наращивание мышечной массы. В рацион включают корма с высоким содержанием углеводов (до 70 %) и умеренным процентом белка (14–16 %). Эффективно использование влажных мешанок на основе вареного картофеля, тыквы и зерновых, жидкого корма на основе комбикорма.

Для снижения затрат часть комбикорма заменяют пищевыми отходами, но только после термической обработки. Однако важно соблюдать баланс: избыток жиров или кислот может вызвать расстройство ЖКТ [10].

Параметров гидротранспорта изучались на гидротранспортной установке для подачи жидкотекучего корма животным с введением в корм кислорода, схема которой показана на рис. 1.

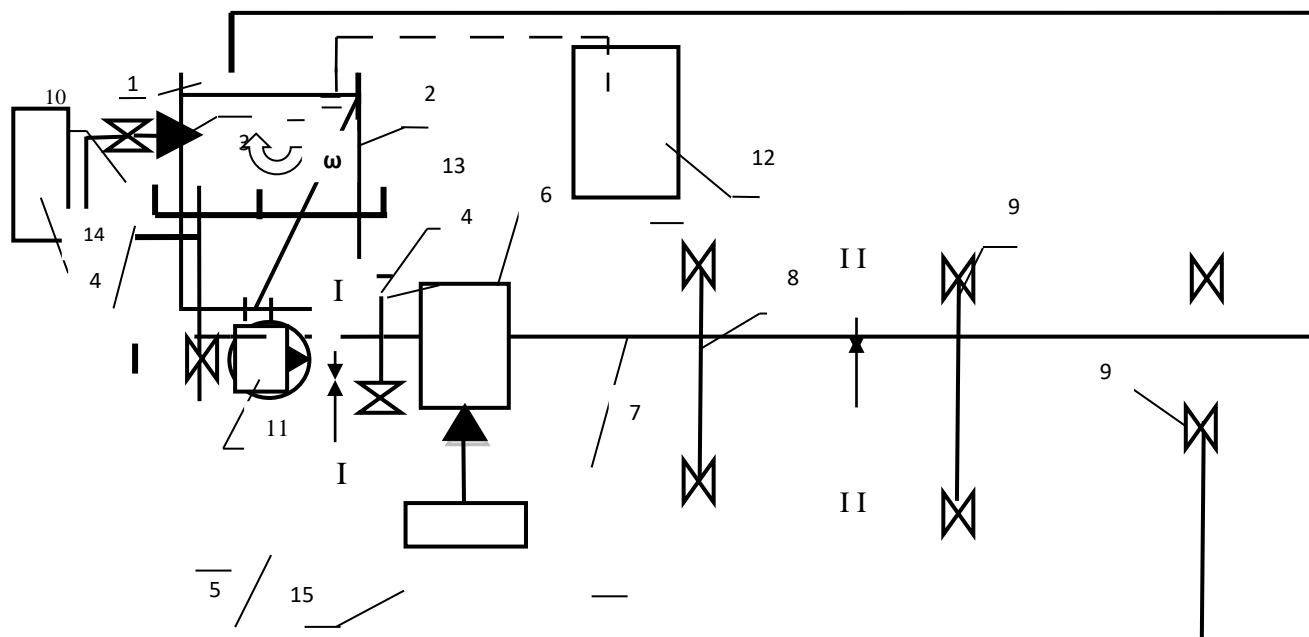


Рис. 1. Схема установки для транспортирования жидких кормовых смесей с добавлением воздуха (кислорода)

1 – емкость для перемешивания корма; 2 – перемешивающее устройство; 3 – дозатор воды; 4 – кран; 5 – насос DPV 10-100; 6 – диффузор для подвода кислорода; 7 – центральный кольцевой трубопровод из полиэтилена (труба ПНД 50\*3,0мм); 8 – межсистемный отвод; 9 – кормовой вентиль; 10 – кран подачи воды; 11 – привод мешалки; 12 – емкость для сухого корма; 13 – электронные весы; 14 – емкость для воды; 15 – баллон с кислородом.

Установка состоит из следующих основных элементов: емкости для сухого корма 12, емкости для смешивания 1, в которой установлено перемешивающее устройство 2, дозатора воды 3, запорного крана 4, насоса 5, диффузора для подвода кислорода 6, центрального кольцевого трубопровода 7, межсистемного отвода 8, кормового вентиля 9, крана подачи воды 10, привода мешалки 11, электронных весов 13, емкости для воды 14, баллона с кислородом 15.

Система работает следующим образом. Центробежный насос 5 подает жидкий корм, поступающий из смесительной емкости 2 в центральный трубопровод 7. В начале центрального трубопровода 7 установлен диффузор 6, через который поступает в систему кислород. Количество подаваемого кислорода регулируется в зависимости от производительности гидротранспортной установки, возраста откормочного поголовья и устанавливается в производственных условиях, согласно рекомендациям. В диффузоре кислород через кольцевые проточки поступает к распылителям и равномерным потоком вносится в корм, что изменяет силы сопротивления скольжению корма по трубопроводу, что будет способствовать полноте переваривания поступившего корма и повышению массы тела животного.

В процессе экспериментальных исследований изучены параметры изменения давления от расхода для исследуемых трубопроводов диаметрами ( $d = 40, 50, 63$  мм без наполнения, с изменением состава смеси и с воздухом); потери давления на одном погонном метре трубопровода ( $d = 50$  мм) при изменении процентного содержания воздуха в жидкости; изменение потерь давления жидкости от расхода при подаче в трубопроводах с различным диаметром.

Параметры изменения давления контролировались датчиком давления Сенсор-М, запись осуществлялась с помощью персонального компьютера через USB-порт. Параметры подачи кислорода устанавливались и контролировались ротаметром, рис. 2.



Рис. 2. а) общий вид прибора ротаметр F-12 с регулировкой подачи воздуха; б) датчик давления Сенсор-М (4-20 мА)

Полученные в процессе исследований экспериментальные данные приведены на графиках, рис. 3...5. График показывает зависимость давления ( $P$ ) от расхода жидкости ( $Q_{ж}$ ) для трубопроводов разного диаметра (40 мм, 50 мм, 63 мм) при фиксированном содержании пузырьков воздуха в жидкости (15 %).

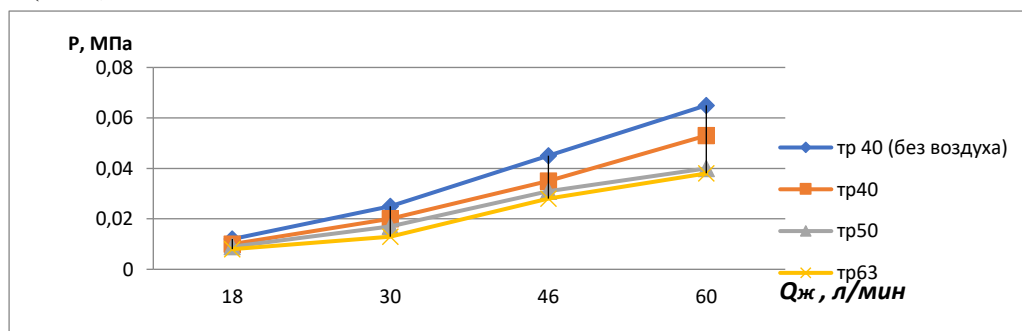


Рис. 3. Расходная характеристика трубопровода  $P = f(Q)$ : изменение давления ( $P$ ) от расхода жидкости ( $Q_{ж}$ ) для исследуемых диаметров ( $d$ ) трубопровода (при среднем значении воздуха 15 %)

С увеличением диаметра трубопровода (например, с 40 мм до 63 мм) давление при одинаковом расходе жидкости снижается, это связано с уменьшением скорости движения жидкости гидравлического сопротивления.

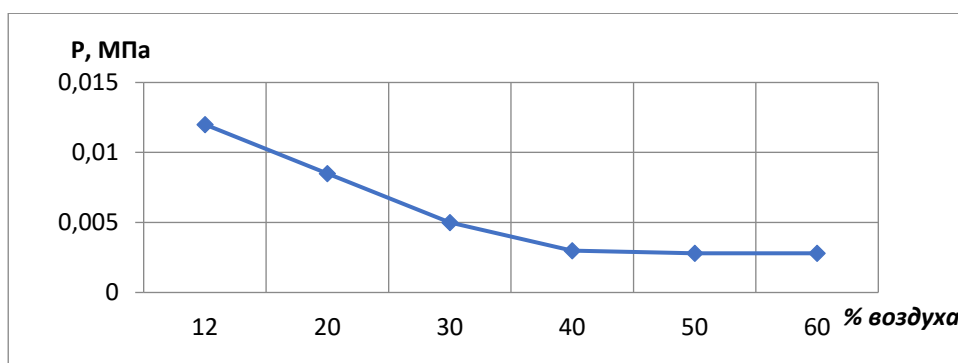


Рис. 4. График потерь давления ( $\Delta P$ ) на одном погонном метре трубопровода  $d= 50\text{мм}$  при изменении процентного содержания воздуха в жидкости ( $Q_{ж}$ )

Анализ зависимости показывает, что потери давления ( $\Delta P$ ) при увеличении процентного содержания воздуха в жидкости (например, с 0 % до 30 %) сначала снижаются пропорционально. При достижении содержания воздуха 40 % и более в жидкости потери напора остаются постоянными ввиду изменения характера трения смеси о поверхность.

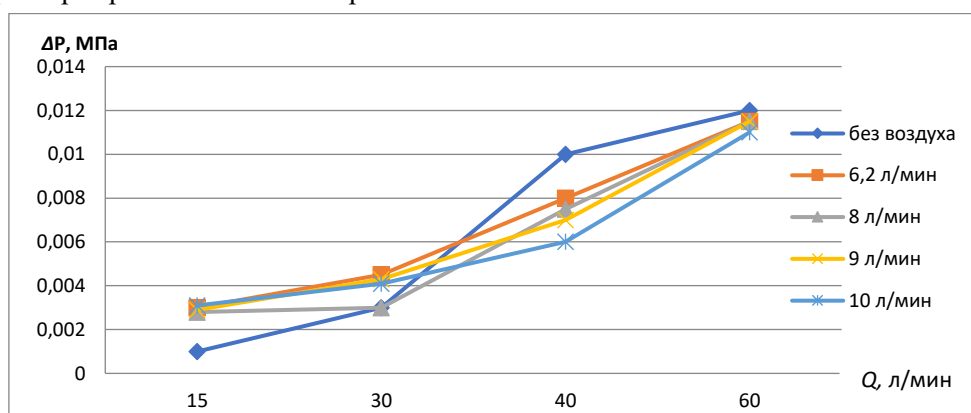


Рис. 5. График изменения потерь давления жидкости ( $\Delta P$ ) от расхода ( $Q$ ) при подаче в трубопровод воздуха в количестве 12%

График иллюстрирует зависимость потерь давления ( $\Delta P$ ) от расхода жидкости ( $Q$ ) при фиксированном содержании воздуха (12 %).

Анализ полученных зависимостей показывает нелинейный рост потерь с увеличением расхода, как следствие изменения скорости потока, увеличением трения и местных сопротивлений.

### Заключение

Полученные данные необходимы для расчета параметров гидротранспортной установки, подбора насоса и электродвигателя. Применение гидротранспортных установок позволяет снизить трудозатраты при кормлении свиней. Жидкий корм с добавлением кислорода в установленных пределах позволят повысить продуктивность и здоровье свиней. Предложенная технология может быть внедрена в хозяйствах, ориентированных на откорм свиней.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Продовольственная безопасность Республики Беларусь: новые вызовы и возможности: материалы круглого стола (Минск, 18 октября 2023 г.). – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2024. – 154 с.
2. Борисенко, Л. Н. Инновационные технологии в свиноводстве / Л. Н. Борисенко, А. К. Савицкий. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 189 с.
3. Ловкис, З. В. Гидравлика / З. В. Ловкис. – М.: «Беларуская навука», 2012. – 439 с.
4. Ловкис З. В. Гидравлика: учебное пособие / З. В. Ловкис, Б. А. Карташов, П. В. Лаврухин. – Ростов н/Д: Феникс, 2019. – 383 с.
5. Асташов, В. В. Гидравлические системы в агропромышленном комплексе / В. В. Асташов, П. Н. Громов. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 214 с.
6. Семенов, В. Ф. Гидротранспорт в животноводческих комплексах / В. Ф. Семенов. – СПб.: Лань, 2021. – 134 с.
7. Ткаченко, И. И. Ресурсосберегающие технологии в свиноводстве / И. И. Ткаченко. – Могилев: МГУП, 2020. – 98 с.
8. Fedorenko, V. Hydraulic Equipment in Agricultural Engineering / V. Fedorenko, D. Petrov // Agricultural Mechanization. – 2021. – Vol. 12, № 2. – P. 34-41.
9. Weber, M. Innovations in Pig Farming: EU Experience / M. Weber. – Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2021. – 163 p.
10. Максимов, А. С. Реология пищевых продуктов / А. С. Максимов, В. Я. Черных. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 169 с.
11. Водяников, В. И. Технологические приемы повышения продуктивности свиней в условиях промышленных комплексов / В. И. Водяников, В. В. Шкаленко. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2014. – 152 с.