

VVT Strategy Using WAVE, "The 13<sup>th</sup> International Pacific Conference on Automotive Engineering., pp.38~43

3. Pulkrabek, W. W., 2005, "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine," Prentice Hall.

4. Heywood, J. B., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals," McGraw-HILL.

УДК 62-82:62-85

С.В. Каверзин, А.А. Михайлов\*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАСЛА С УЧЕТОМ ЕГО ВИБРАЦИИ

*Исследование влияния виброскорости гидробака на скорость всплытия пузырька воздуха и получение функциональной зависимости между ними*

**Ключевые слова:** гидропривод, гидравлическое масло, дегазация, вибрация, виброскорость, пузырек воздуха.

Эксплуатация грузоподъемных машин, не имеющих средств дегазации рабочей жидкости гидропривода, приводит к ухудшению динамических характеристик [3] исполнительного механизма, к основной из которых отнесена скорость движения поршня гидроцилиндра. Вместе с тем применение устройств дегазации в настоящее время, вероятно, недостаточно эффективно, так как они не учитывают вибраций гидрофицированной машины, всегда присутствующих во время ее эксплуатации. Исследований, отражающих степень влияния вибрации на процесс дегазации рабочей жидкости, не обнаружено [1, 2, 4, 5], что и определило актуальность этой работы.

Целью исследования является изучение процесса дегазации гидравлического масла с учетом вибрации. В качестве основной целевой функции, описывающей процесс дегазации и влияющей на скорость движения поршня гидроцилиндра, принята скорость всплытия пузырьков воздуха. К основным факторам, влияющим на основную целевую функцию, отнесены: диаметр пузырька, вязкость и температура гидравлического масла, виброскорость гидробака.

Виброскорость гидробака как один из важнейших показателей вибрации, согласно испытанию, проведенному на лесозаготовительной машине ЛП-18К2, изменяется в пределах от 5 до 17 мм/с. Кинематическая вязкость рабочей жидкости изменялась от  $12 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с до  $54 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Температура гидравлического масла варьировалась от 3 °С до 20 °С. Диаметр пузырька условно был выбран  $65 \cdot 10^{-4}$  м. Тепловая конвекция гидравлического масла не учитывалась. Экспериментальные исследования проводились в лабораторном помещении с учетом общих принципов теории инженерного эксперимента, при постоянной температуре окружающего воздуха, без попадания на ус-

тановку прямых солнечных лучей.

На рис. 1 представлена схема стенда, который включает в себя стеклянную трубку 1, тяги 2, электродвигатель 3 со смещенным центром тяжести, иглу 4, пневмонасос 5 ручного типа, датчик 6 для измерения виброскорости, виброметр 7. Стеклянная трубка 1 представляет собой гидробак с прозрачными стенками для визуального контроля хода эксперимента, наполненный гидравлическим маслом МГ-15В (ГОСТ 17479.3-89).

Погрешности приборов, использованных в экспериментальных исследованиях, имеют следующие значения: термометр ТЛ-2  $\pm 1$  °С, вискозиметр капиллярного типа ВПЖ-2  $\pm 0,2$  мм/с, измеритель виброколебаний «ИНК-2.4» – виброскорость  $\pm 0,1$  мм/с, время всплытия пузырька  $\pm 0,04$  с, высота всплытия пузырька  $\pm 0,5$  мм.

При включении источника колебаний 3, создается вибрация, которая передается гидравлическому маслу, находящемуся в стеклянной трубке 1. При включении источника 3 возникает вибрация, а тяги 2 передают ее стеклянной трубе 1 в одном направлении. Вибрация от стенок стеклянной трубы 1 передается маслу МГ-15В, в которое через иглу 4 посредством ручного пневмонасоса 5 вводится пузырек воздуха. Величина виброскорости варьировалась путем изменения электрического тока, поступающего на электродвигатель 3. Для изменения электрического тока использовались латер.

Показания приборов фиксировались визуально, а всплытие пузырька снималось на видеокамеру со скоростью съемки 25 кадров в секунду и разрешением 720 на 576 пикселей, затем записывалось на магнитный носитель и обрабатывалось на ЭВМ с целью определения времени всплытия и диаметра пузырька. Перед проведением эксперимента для жидкости, используемой в стенде, при

\* - автор, с которым следует вести переписку.

помощи вискозиметра капиллярного типа ВПЖ-2 ГОСТ 10028-62 была проверена кинематическая вязкость гидравлического масла (МГ-15В), так как плотность различных партий масла неодинакова. Чтобы избежать конвективного перемешивания масла, температура окружающего воздуха и температура масла выравнялись.

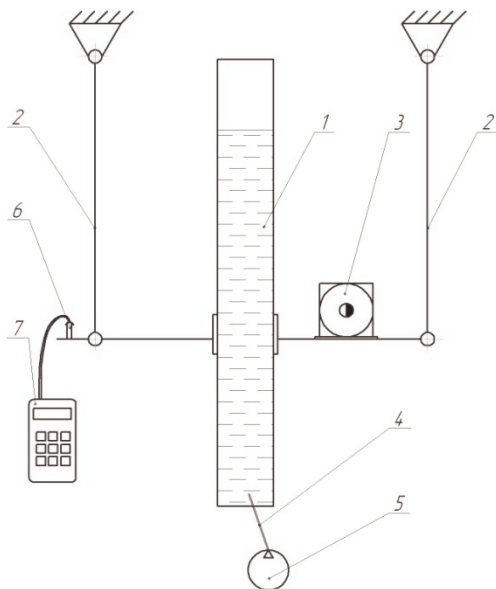


Рис. 1. Схема стенда.

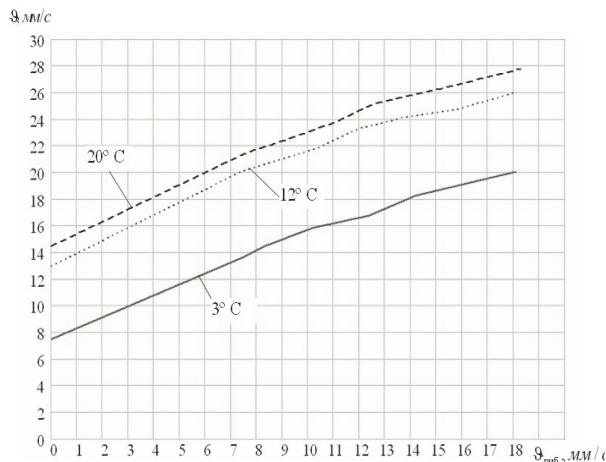


Рис. 2. Зависимость скорости всплытия пузырька воздуха в гидравлическом масле под действием вибрации и различных температурах.

По результатам эксперимента получена зависимость скорости всплытия пузырька воздуха в гидравлическом масле от вибрации и различных температур (рис. 2). Обработка экспериментальных данных производилась методом наименьших квадратов с использованием математического пакета Mathcad. Максимальная относительная ошибка результата экспериментальных исследований, с учетом работы [5], есть сумма квадратов отношений погрешностей к минимальным измеряемым значениям соответствующих величин

$$\Delta u_{\max} = \left( \frac{\Delta T_{\text{рж}}}{T_{\text{рж. min}}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \nu_{\text{рж}}}{\nu_{\text{рж. min}}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \vartheta_{\text{виб}}}{\vartheta_{\text{виб. min}}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h_{\text{вс}}}{h_{\text{вс. min}}} \right)^2, \quad (2.1)$$

где  $T_{\text{рж}}$  – температура гидравлического масла, °C;  $\nu_{\text{рж}}$  – кинематическая вязкость гидравлического масла, м<sup>2</sup>/с;  $\vartheta_{\text{виб}}$  – виброскорость гидробака, м/с;  $h_{\text{вс}}$  – высота всплытия пузырька воздуха в гидравлическом масле, м.

В данном случае для экспериментальных исследований ошибка измерений составила  $\Delta u_{\max} = 0.035102 = 3.51\%$ , что достигается главным образом за счет высокой точности измерительных приборов. Рассмотрев различные способы аппроксимации полученных в ходе эксперимента данных, была выбрана функция вида:

$$V = a \left( \frac{g \cdot R^2}{3 \cdot \nu} \right) + b \vartheta_{\text{виб}} + c,$$

где  $V$  – скорость всплытия пузырька воздуха с учетом вибрации;  $g$  – ускорение свободного падения,  $R$  – радиус пузырька воздуха;  $\nu_{\text{рж}}$  – кинематическая вязкость гидравлического масла;  $\vartheta_{\text{виб}}$  – виброскорость гидробака.

Коэффициенты  $a, b, c$  найдены методом наименьших квадратов [5]

$$W(a, b, c) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - a \nu_i - b \vartheta_{\text{виб. i}} - c)^2 \rightarrow \min(a, b, c)$$

В результате обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость:

$$V = 1.29 \cdot \left( \frac{g \cdot R^2}{3 \cdot \nu} \right) + 0,57 \cdot \vartheta_{\text{виб}} - 0,026.$$

Полученное уравнение регрессии наилучшим образом описывает функциональную зависимость скорости всплытия пузырька воздуха под действием виброскорости. Коэффициенты  $a, b, c$  будут зависеть от физических и химических свойств гидравлического масла, и полученная формула действительна только для масла МГ-15В.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) скорость всплытия пузырька линейно зависит от виброскорости колебания гидравлического масла;

2) пузырек газа, независимо от его размеров, двигался равноускоренно, каждые 100 мм пройденного пути скорость увеличивалась на 0,6 с;

3) получено уравнение регрессии, которое позволило описать функциональную зависимость

скорости всплытия пузырька воздуха под действием виброскорости.

### *Литература*

1. Башкиров С.В., Дудков Ю. Н., Федин В.И. Методика экспериментального исследования газозообразования при неустановившемся жидкости в линиях объемных приводов // Гидропривод и системы управления: межвуз. сб. науч.тр., Новосибирск: 1977. С. 137-142.

2. Каверзин С. В. Методы повышения работоспособности и эффективности гидропривода самоходных машин // Вестн. КГТУ., 1996. № 8 С. 16-19.

3. О содержании газов в минеральном масле гидросистем. И.С. Кольцова и др. Вестн. машиностроения. 1980, № 7. С. 29-32.

4. Регенерация гидравлического масла путем удаления частиц воды, воздуха и твердых механических примесей с целью продления срока его годности. Т. Сасаки и др. // Юацу гидзюцу, 1978, Т. 2, № 15. – С. 44-53.

5. Wolff P. Bemerkungen zum Problem der Luftausscheidung und Kavitation in olhydraulischen Systemen // Kavitation. 1977. -P. 170-188.

6. В.К. Калоша, С.И. Лобко, Т.С. Чикова. Тематическая обработка результатов эксперимента. – Минск: Выш. Школа, 1982. С 54-70.