

МОДЕЛИРОВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ УСТАНОВКЕ ГИДРОЦИЛИНДРА ЗАЩИТНОГО КОЛЬЦА

Н.А. АБДУАЗИЗОВ, проректор по учебной работы, д.т.н.

Р.У. ДЖУРАЕВ, заведующий кафедрой, д.т.н.

А.Ш. ЖУРАЕВ, и.о. доцент кафедры, PhD, jurayevakbar@mail.ru

Навоийский государственный горно-технологический университет,
Навоий, Узбекистан

Аннотация

В данной статье проведен анализ многокомпонентных частиц загрязняющих веществ, поступающих из внешних и внутренних сред гидросистемы, в рабочую жидкость и вызывающие абразивный износ в штоках и уплотнениях гидроцилиндров. При этом было проведено исследование свойств на основе моделирования изменения состояния концентрации загрязняющих частиц в рабочей жидкости. В статье проведен сравнительный анализ результатов оптимизации свойств рабочей жидкости на основе предложенных технических решений.

Ключевые слова: Вязкость, гидроцилиндр, плотность, сжимаемость, тепловое расширение.

Введение. Различные загрязнения, попадая в гидроцилиндр, смешиваются с рабочей жидкостью. При этом, жидкость в гидроцилиндре теряет однородность, что влияет на работоспособность штока. Если проанализировать жидкость, то такие ее свойства как динамическая и кинематическая вязкости, текучесть и упругость изменяются при попадании в нее различных загрязняющих веществ. Тогда изменяются и соответствующие физические свойства жидкости – плотность, сжимаемость, тепловое расширение и т.д. В зависимости от этих свойств меняется давление и температура в гидроцилиндре. По этой причине исследуем некоторые свойства жидкости и их влияние на систему гидроцилиндра. Проведем сравнительный анализ состояния жидкости с использованием защитного кольца и без него.

Если грязь попадает в гидроцилиндр, то в первую очередь влияет на вязкость жидкости, что приводит к перепаду давления и температуры в гидроцилиндре.

Вязкость – это свойство жидкости, которое оказывает сопротивление сдвигу или относительному смещению слоев [1]. Сила сопротивления сдвигу называется силой внутреннего трения.

Основная часть. Расположим центр оси штока по оси Ox . Тогда сила сопротивления жидкости в цилиндре будет иметь вид:

$$F = \pm \mu S \frac{du}{dx}, \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad (1)$$

где μ – вязкость, Па·с; S – площадь поперечного сечения, мм²; $\frac{du}{dx}$ – скорость течения жидкости, мм/с.

Давление жидкости в гидроцилиндре выражается формулой

$$p = \frac{F}{S} \text{ (или } F = pS), \text{ Па}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) получим:

$$pS = \pm \mu S \frac{du}{dx}.$$

Сокращая на S имеем:

$$p = \pm \mu \frac{du}{dx}, \text{ Па.} \quad (3)$$

Из равенства (3) определим вязкость жидкости:

$$\mu = \frac{p}{\frac{du}{dx}}, \text{ Па} \cdot \text{с.} \quad (4)$$

Текучесть жидкости является обратным свойством к вязкости. Обозначив её через σ_T , получим:

$$\sigma_T = \frac{1}{\mu} = \frac{\frac{du}{dx}}{p}, \frac{1}{\text{Па} \cdot \text{с}}. \quad (5)$$

Если из уравнения (3) выразить скорость движения жидкости по гидроцилиндру, то оно имеет следующий вид:

$$\frac{du}{dx} = \frac{p}{\mu}. \quad (6)$$

Это означает, что скорость жидкости постоянная.

Уравнение (6) является дифференциальным уравнением первого порядка с разделяющимися переменными.

Решая уравнение (6), получим

$$u = \frac{p}{\mu} x + C, \quad (7)$$

где C – интегральная постоянная.

Интегральную постоянную C можно найти, используя начальные условия $u = u_0$ при $x = 0$ (здесь $0 \leq x \leq l$, l – длина штока). Подставляя эти выражения в уравнение (7), находим C :

$$u_0 = 0 + C, \text{ откуда } C = u_0.$$

Тогда

$$u = \frac{p}{\mu} x + u_0. \quad (8)$$

Из этого следует, что функция скорости является линейной функцией. В этом случае делаем вывод, что эпюра (траектория) функции скорости является прямой линией.

Так как скорость движения жидкости является постоянной, то ускорение будет равно нулю, т.е.

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \left(\frac{p}{\mu} \right)' = 0.$$

Теперь, когда получено выражение для определения вязкости (4), используя данные по давлению и скорости движения жидкости, можно вычислить его значение, когда жидкость отвечает техническим требованиям. Используя полученные экспериментальные данные для давления $p = 38 \text{ МПа}$, $l_{\text{мах}} = 2120 \text{ мм}$ (длина штока), вычислим значение вязкости μ . [2]

Учитывая время движения штока по гидроцилиндру (вперед или назад), получим скорость движения жидкости:

$$\frac{du}{dx} = \frac{l}{t} = \frac{2120 \text{ мм}}{4 \text{ с}} = \frac{2,12 \text{ м}}{4 \text{ с}} = 0,53 \text{ м/с}.$$

Тогда

$$\mu = \frac{p}{\frac{du}{dx}} = \frac{38 \text{ МПа}}{0,53 \text{ м/с}} = 7,17 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}. \quad (9)$$

Учитывая вышесказанное и используя экспериментальные данные, можно вычислить вязкость, текучесть и давление жидкости при применении уплотнительного защитного кольца и без него. В итоге, сравнивая полученные результаты во всех случаях, можно сделать окончательные выводы.

Нужно отметить, что в дальнейшем при использовании в расчетах величину загрязняющих веществ $G_{\text{загр}}$ учтем, что $G_{\text{загр}}$ состоит из суммарных загрязняющих веществ, состоящих из кремния $G_{\text{кр}}$, натрия $G_{\text{нр}}$, калия $G_{\text{к}}$, воды $G_{\text{в}}$ и других видов загрязняющих веществ, которые появляются в зависимости от погодных условий, географического расположения месторождения, климатических условий и т.д. Его обозначим в виде:

$$G_{\text{загр}} = G_{\text{кр}} + G_{\text{нр}} + G_{\text{к}} + G_{\text{в}} + \dots + G_n.$$

Рассуждая о том, что, если в жидкость попадает грязь, то она становится более вязкой, приходим к выводу о пропорциональности вязкости и загрязнения, причем она линейна.

В этом случае математическая модель, исходя из (3), имеет следующий вид:

$$p \cdot G_{\text{загр}} = p(G_{\text{кр}} + G_{\text{нр}} + G_{\text{к}} + G_{\text{в}} + \dots + G_n) = \mu \frac{du}{dx}. \quad (10)$$

Отсюда определим давление жидкости с учетом загрязняющих веществ:

$$p = \frac{\mu \frac{du}{dx}}{G_{\text{загр}}} = \frac{\mu \frac{du}{dx}}{(G_{\text{кр}} + G_{\text{нр}} + G_{\text{к}} + G_{\text{в}} + \dots + G_n)}, \text{ Па}. \quad (11)$$

С учетом выражения (4) получим формулу определения вязкости:

$$\mu = \frac{p \cdot G_{\text{загр}}}{\frac{du}{dx}} = \frac{p(G_{\text{кр}} + G_{\text{нр}} + G_{\text{к}} + G_{\text{в}} + \dots + G_n)}{\frac{du}{dx}}, \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (12)$$

Учитывая, что $\mu = 7,17 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}$, $G_{\text{загр}} = 68,71 \text{ мг/кг}$ – общее количество загрязняющих веществ без применения защитного кольца, $G_{\text{загр}} = 30,2 \text{ мг/кг}$ – при использовании защитного кольца и $u=0.53 \text{ м/с}$ скорость движения жидкости можно определить давление, вязкость и текучесть жидкости. [3]

Эксперимент проводился на гидроцилиндре гидравлического экскаватора марки RH-40Е. В нем установили защитное кольцо и в течение 3000 мото/часов эксплуатации наблюдали за работой гидроцилиндра, фиксируя данные каждый 500 мото/часов (от 500 до 3000).

Вместимость жидкости гидроцилиндра – 40 л. В дальнейших расчетах использованы эти данные.

Так как $1 \text{ л} \approx 900 \text{ гр} = 0,9 \text{ кг}$, то $40 \text{ л} = 40 \cdot 0,9 = 36 \text{ кг}$. Учитывая этот факт, вычислим общую величину загрязнения с использованием уплотнителя и без него:

$$G_1 = 30,2 \frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot 36 \text{ кг} = 108,72 \text{ мг} – \text{с использованием уплотнителя},$$

$$G_2 = \frac{68,71 \text{ мг}}{\text{кг}} \cdot 36 \text{ кг} = 247,356 \text{ мг} – \text{без использования уплотнителя}.$$

Используя полученные данные, вычислим, сколько процентов составляют загрязнения относительно общей массы жидкости.

Процентное отношение с использованием уплотнителя – $1,08:36=0,03=3\%$.
Процентное отношение без уплотнителя – $2,474:36=0,069=6,9\%$.

Тогда, для давления на жидкость имеем:

– в случае с уплотнителем

$$3:38=0,0789=7,89 \text{ МПа}.$$

Отсюда

$$p_1 = 38 \text{ МПа} + 7,89 \text{ МПа} = 45,89 \text{ МПа};$$

– в случае без уплотнителя

$$6,9:38=18,16 \text{ МПа},$$

тогда

$$p_2 = 38 \text{ МПа} + 18,16 \text{ МПа} = 56,16 \text{ МПа}.$$

В итоге получим следующие результаты:

- 1) давление на жидкость в номинале – $p = 38 \text{ МПа}$;
- 2) давление на жидкость с уплотнителем – $p_1 \approx 45,89 \text{ МПа}$;
- 3) давление на жидкость без уплотнителя – $p_2 \approx 56,16 \text{ МПа}$.

Графическое изображение давления жидкости различного значения продемонстрировано на рис.1.

Дальнейшие вычисления проведены с учетом полученных данных для давления на жидкость.

Вязкость жидкости

– в случае с уплотнителем:

$$\mu_1 = \frac{p \cdot G_1}{\frac{du}{dx}} = \frac{45,89 \text{ МПа} \cdot 108,72 \text{ мг/кг}}{0,53 \text{ м/с}} \approx 9,4 \text{ МПа} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}; \quad (13)$$

– в случае без уплотнителя:

$$\mu_2 = \frac{p \cdot G_2}{\frac{du}{dx}} = \frac{56,16 \cdot 247,356 \text{ мг/кг}}{0,53 \text{ м/с}} \approx 26,2 \text{ МПа} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}. \quad (14)$$

В итоге получим следующие результаты для вязкости:

- 1) вязкость жидкости в номинале – $\mu = 7,17 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}$;
- 2) вязкость жидкости с уплотнителем – $\mu_1 \approx 9,6 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}$;
- 3) вязкость жидкости без уплотнителя – $\mu_2 \approx 26,2 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}$.

Графическое изображение вязкости жидкости различного значения показано на рис.

2.

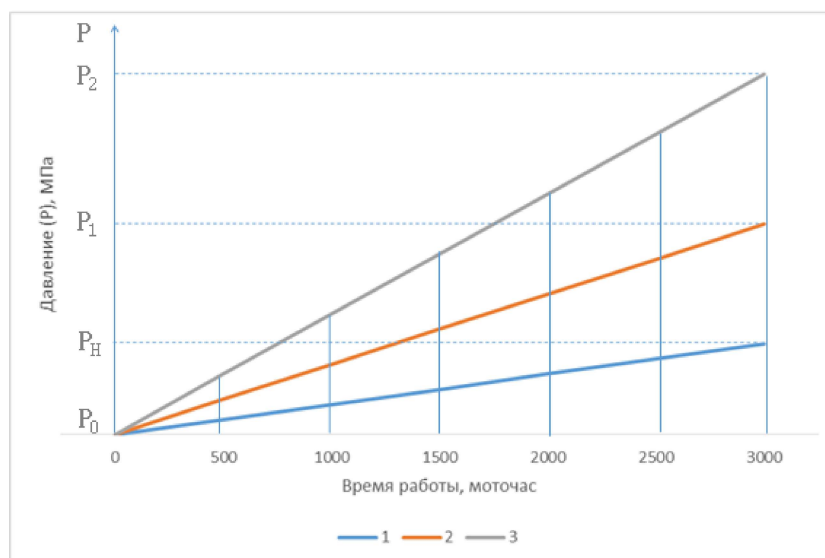


Рис. 1. Зависимость изменения давления от времени эксплуатации

1 – давление на жидкость в номинале $p = 38 \text{ МПа}$; 2 – давление на жидкость с уплотнителем $p_1 \approx 45,89 \text{ МПа}$; 3 – давление на жидкость без уплотнителя $p_2 \approx 56,16 \text{ МПа}$

Известно, что текучесть жидкости – обратная величина вязкости и определяется по формуле $\sigma = \frac{1}{\mu}$.

Вычислим значения текучести в соответствии с полученными результатами для вязкости:

– текучесть в номинале:

$$\sigma = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{7,17 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}} \approx 0,139 \text{ м}/(\text{МПа} \cdot \text{с}); \quad (15)$$

– в случае с уплотнителем:

$$-\sigma_1 = \frac{1}{\mu_1} = \frac{1}{9,6 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}} \approx 0,104 \text{ м}/(\text{МПа} \cdot \text{с}); \quad (16)$$

– в случае без уплотнителя:

$$\sigma_2 = \frac{1}{\mu_2} = \frac{1}{26,2 \text{ МПа} \cdot \text{с/м}} \approx 0,038 \text{ м}/(\text{МПа} \cdot \text{с}). \quad (17)$$

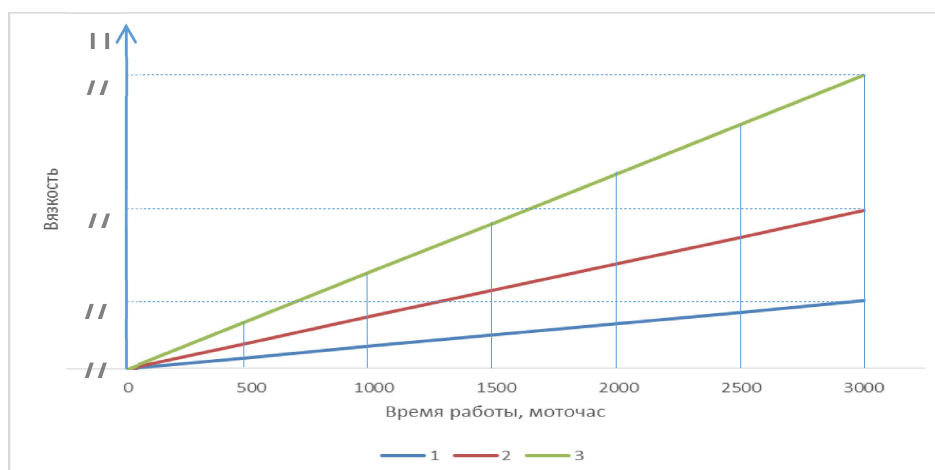


Рис. 2. Зависимость вязкости гидравлического масла от продолжительности эксплуатации

μ_0 – начальная вязкость; μ_1 – номинал; μ_2 – вязкость жидкости с уплотнителем; μ_3 – вязкость жидкости без уплотнителя

Графическое изображение текучести жидкости различного значения показано на рис.

3.

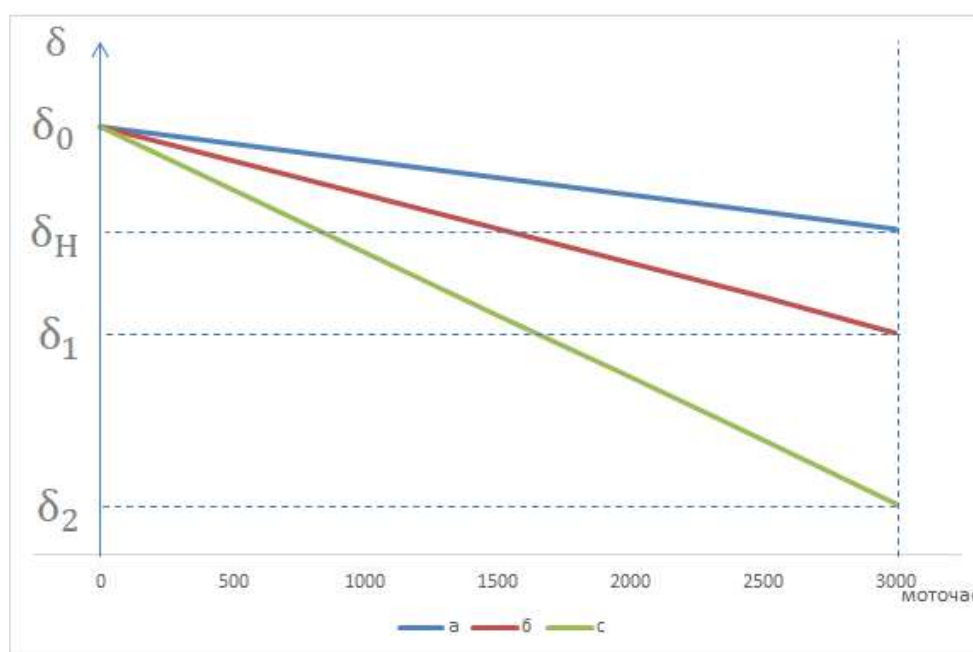


Рис. 3. Зависимость изменения текучести от продолжительности эксплуатации

σ_0 – начальная текучесть; σ – текучесть в номинале; σ_1 – текучесть с уплотнителем; σ_2 – текучесть без уплотнителя

Полученные результаты, как зависимые величины давления, вязкости и текучести можно изобразить графически. Графики зависимости являются прямыми линиями согласно уравнению (8). В изображениях используются обозначения p_0 , μ_0 и σ_0 , как некоторые начальные величины, определяемые техническим регламентом.

Вывод. Выявлено, что твердые пылевые частицы поступают в рабочую жидкость и гидробак через воздушные фильтры. Поступившие твердые частицы в жидкость при

циркуляции по системе изнашивают сальники и уплотнители гидроцилиндра, у которых снижается герметичность и начинают пропускать рабочую жидкость при работе гидроцилиндра.

Бибблиографический список

1. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности «Горные машины и комплексы». – Москва: «Машиностроение», 1979. – 319 с.
2. Абдуазизов Н.А. Разработка методов повышения эффективности карьерных гидрофицированных экскаваторов на основе оптимизации их гидравлических систем Узбекистан // Дисс. док. техн. наук. – Алмалык, 2020. – 200 с.
3. Abduazizov N. A. et al. A complex of methods for analyzing the working fluid of a hydrostatic power plant for hydraulic mining machines //International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Т. 29. – №. 5 Special Issue. – С. 852-855.

SIMULATION OF A COMPARATIVE CHANGES IN THE PROPERTIES OF THE WORKING LIQUID WHEN INSTALLING THE PROTECTIVE RING HYDRO CYLINDER

Information about authors

N.A. ABDUAZIZOV, Vice-rector for academic affairs, Doctor of technical sciences

R.U. DJURAEV, Head of the department, Doctor of technical sciences

A.Sh. JURAEV, Associate professor of the department, PhD, jurayevakbar@mail.ru

Navoi state mining and technology university, Navoiy, Uzbekistan

Abstract

This article analyzes multicomponent particles of pollutants coming from external and internal environments into hydraulic systems, mixing with the working fluid and causing abrasive wear in the rods and seals of hydraulic cylinders. At the same time, a study of the properties was carried out on the basis of modeling the change in the state of the concentration of polluting particles in the working fluid. The article presents a comparative analysis of the results of optimizing the properties of the working fluid based on the proposed technical solutions.

Key words: Viscosity, hydraulic cylinder, density, compressibility, thermal expansion.

Reference

1. Koval P.V. Hydraulics and hydraulic drive of mining machines: A textbook for universities in the specialty "Mining machines and complexes". - Moscow: "Engineering", 1979. - 319 p.
2. Abduazizov N.A. Development of methods for improving the efficiency of mining hydraulic excavators based on the optimization of their hydraulic systems Uzbekistan // Diss. doc. tech. Sciences. - Almalyk, 2020. - 200 p.
3. Abduazizov N. A. et al. A complex of methods for analyzing the working fluid of a hydrostatic power plant for hydraulic mining machines //International Journal of Advanced Science and Technology. - 2020. - Т. 29. - No. 5 Special Issue. - S. 852-855.