

Богданов Евгений Петрович

Evgeny P. Bogdanov

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

National Research Tomsk Polytechnic University

Доцент кафедры «Электромеханические комплексы и материалы»

Associate Professor of department “Electromechanical systems and materials”

Канд. техн. наук, доцент

Рикконен Сергей Владимирович

Sergey V. Rikkonen

ООО «Система», г. Томск

“System” Ltd, Tomsk

Главный конструктор ООО «Система», г. Томск

Chief designer of “System” LTD, Tomsk

Канд. техн. наук, доцент

Киселев Александр Викторович

Aleksandr V. Kiselev

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

National Research Tomsk Polytechnic University

Ассистент кафедры «Электромеханические комплексы и материалы»

Assistant of department “Electromechanical systems and materials”

E-Mail: epbogdanov@mail.ru

05.04.13 Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты.

Переходные процессы движения открывающейся заслонки системы автоматизированного регулирования давления в процессе пуска магистрального насосного агрегата

Transients of movement of the opening damper of automatic control pressure system
during the start of the main unit pump

Аннотация: В работе проанализированы переходные процессы движения дросселирующей заслонки, изменения перепада давления, потери гидродинамической мощности на заслонке в процессе пуска магистрального насосного агрегата. С точки зрения минимизации потерь гидравлической мощности обоснованы режимы пуска магистрального насосного агрегата (МНА) и регулирующей заслонки. Определены временные зависимости потерь гидравлической мощности в процессе пуска МНА.

The Abstract: This paper analyzes the transients of movement of throttling damper, changing differential pressure, hydrodynamic power losses on the damper during the start of the main unit pump. From the point of view of minimizing the losses of hydraulic power the starting duty of main unit pump (MUP) and control damper were founded. The time dependence of the hydraulic power losses during the start of MUP were determined.

Ключевые слова: Заслонка, процесс, дроссель, насос, магистраль, агрегат, потери, мощность, пуск, гидравлика, арматура, трубопровод.

Keywords: Choker, process, throttle, pump, main, unit, losses, power, start, hydraulics, armature, pipeline.

Магистральные нефтепроводы относятся к технологическим объектам с потоковой технологией. Рабочая среда при транспортировке оказывает гидродинамическое воздействие на элементы трубопровода и соединяемого ими оборудования. При этом возникают такие нежелательные явления, как гидроудары, вибрация, эрозия деталей, шум. На интенсивность этих явлений помимо давления и температуры существенное влияние оказывает скорость движения среды. Скорость среды в трубопроводах являются одним из косвенных технико-экономических показателей, отражающих уровень материальных затрат на перекачку.

Целью управления объектом с потоковой технологией является организация структуры потока и поддержания требуемых параметров потока при оптимальных энергозатратах. Дроссельные регулирующие органы входят в состав исполнительных устройств систем автоматизированного регулирования давления (САРД).

С помощью регулирующих органов осуществляется непосредственное воздействие на регулируемый параметр путем обеспечения требуемого расхода рабочей среды в гидравлической системе в соответствии с получаемой командной информацией. САРД осуществляет регулирование давления на входе и выходе нефтеперекачивающей станции.

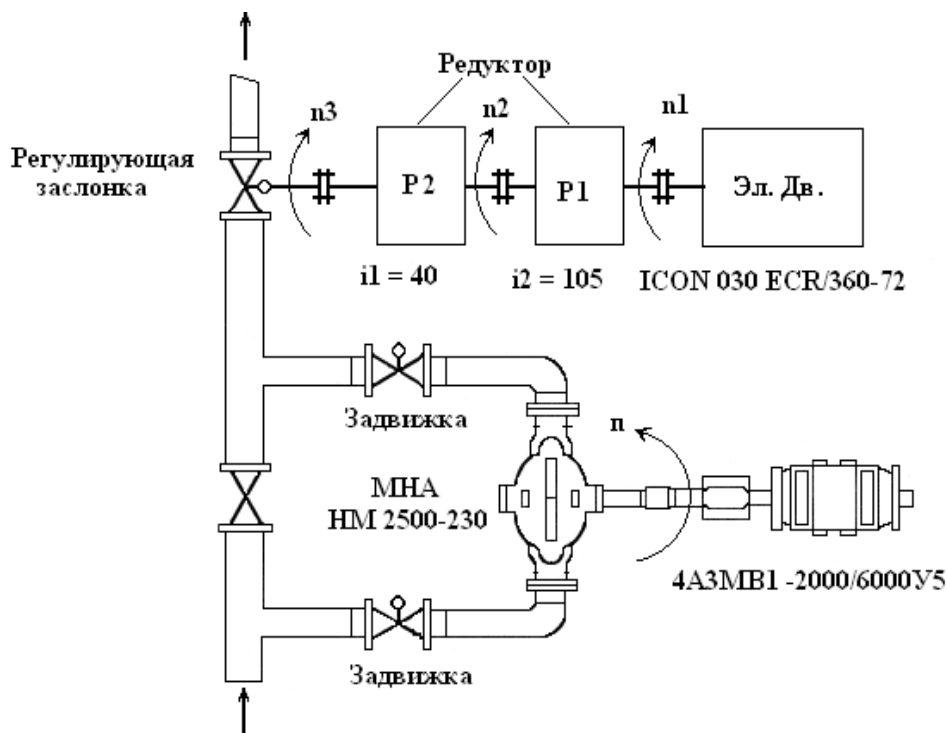
Первое позволяет избежать вредного побочного эффекта кавитации на лопатках насосного агрегата, второе предотвращает превышение регламентируемого рабочего давления. Широкое применение в процессах регулирования давления на нефтеперекачивающих станциях нашел метод дросселирующей заслонки [1].

Для правильного проектирования любой автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП) необходимо обладать достоверными знаниями и алгоритмами, описывающими поведение объекта. Объектом регулирования в САРД является дросселирующая заслонка [1,2,3].

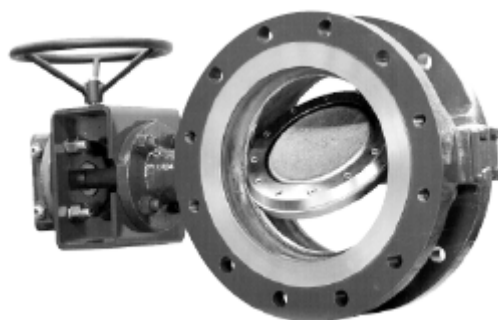
В данной работе проанализированы переходные процессы движения дросселирующей заслонки, изменения перепада давления на заслонки, потери гидродинамической мощности на заслонке в процессе пуска магистрального насосного агрегата.

Прямой пуск агрегата может происходить при разных положениях заслонки:

- заслонка закрыта;
- заслонка открыта;
- одновременное включение агрегата и привода заслонки;
- открытие заслонки в разные времена переходного процесса пуска агрегата.



а)



б)

Рис. 1. а) – схема МНА с приводом регулирующей заслонки; б) – регулирующая заслонка фирмы БИФИ

Основные допущения и условия расчета, принятые при анализе системы:

- не учитываются изменения реологических свойств и агрегатного состояния товарной нефти в зависимости от изменения сдвиговой скорости среды;
- температура среды постоянна и температуре соответствует динамическая вязкость $8,5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ и плотность нефти 850 кг/м^3 ;
- учитываются только электромеханические переходные процессы системы;
- осуществляется прямой пуск агрегата; давление в трубопроводе до насоса и после заслонки равно нулю.

Имеется поворотная регулирующая заслонка со следующими параметрами:

- длина заслонки по потоку $L_{зас} = 0,5$ м;
- диаметр заслонки $d = 0,5$ м;
- геометрическая длина заслонки $L_{sop} = d$.

Параметры магистрального насосного агрегата:

- производительность 2500 м³/час = $0,694$ м³/с;
- напор 230 м;
- скорость вращения 3000 об/мин.

Заслонка имеет упоры и червячные редукторы. Параметры привода заслонки представлены на рис.1.

Временная зависимость скорости вращения и напора агрегата определяется по формулам (1) и (2).

$$\omega_{ар} = \omega_c \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}} \right) \quad (1)$$

$$H(t, x, z) = \frac{(\omega_{ар}(t)R_H)^2}{2g} \quad (2)$$

где $\omega_{ар}$ – скорость вращения агрегата, 1/с;

$\omega_c = 314$ – синхронная скорость вращения агрегата, 1/с;

$T_m = 1,0$ – постоянная времени переходного процесса пуска агрегата, с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$H(t)$ – гидравлический напор агрегата, м;

$R_H = 0,213$ – радиус колеса насоса, м.

$$I \Sigma \left(\frac{d\omega}{dt} \right) = M_a(t, \alpha, \omega) - \frac{M_r(t, \alpha, \omega) + M_{тр}(\Delta P, \alpha)}{i1 \times i2 \times \eta_p} \quad (3)$$

$$M_a(t, \alpha, \omega) = \frac{2M_k(1 + \alpha S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2\alpha S_k} \quad (4)$$

$$M_{тр}(\Delta P, \alpha) = 0,785 \cdot d^2 \cdot 1,2 \cdot \Delta P \cdot \sin \alpha \cdot \mu_{тр} \cdot \frac{d_{цанф}}{2} \quad (5)$$

В уравнениях (3–5) используются следующие значения:

$\alpha(t)$ – угол закрытия заслонки;

$\omega(t)$ – угловая скорость вращения вала двигателя привода заслонки;

I_{Σ} – суммарный момент инерции системы привода заслонки;

$M_a(t, \alpha, \omega)$ – момент асинхронного двигателя привода заслонки;

$M_r(\alpha)$ – момент гидравлический;

$M_{тр}(\Delta P, \alpha)$ – момент трения системы;

M_k – критический момент асинхронного двигателя привода заслонки;

S_k – критическое скольжение асинхронного двигателя привода заслонки;

$S(t)$ – текущее скольжение асинхронного двигателя привода заслонки во время переходных процессов;

$a = \frac{R_1}{R_{2\Sigma}}$ – отношение активных сопротивлений статора и ротора асинхронного двигателя привода заслонки;

η_p – коэффициент полезного действия механической части привода заслонки;

i_1, i_2 – коэффициенты редукции первого и второго редуктора привода заслонки;

d – диаметр заслонки;

ΔP – перепад давления на заслонке;

$\mu_{тр}$ – коэффициент трения заслонки;

$d_{цапф}$ – диаметр цапфы заслонки.

Момент гидравлического сопротивления является существенно нелинейной величиной и зависит от скорости вращения МНА, скорости течения жидкости в трубе, угла поворота и конструктивных особенностей заслонки. $M_r(t, \alpha, \omega)$ рассчитывается по методике [1].

Учитывая существенную нелинейность нагрузки привода заслонки, проанализируем переходные процессы системы без наличия упоров и механических фиксаций вала привода (тормозов или червячных редукторов).

Решение уравнения (3) с учетом (1,4,5), осуществляется численным методом Рунге-Кутты.

Весь переходный процесс регулирования положения заслонки состоит из следующих «локальных» переходных процессов:

- электромеханический переходный процесс пуска МНА (рис.2);
- электромеханический переходный процесс пуска асинхронного двигателя привода заслонки;
- отработка заданного угла положения заслонки.

Пуск агрегата на закрытую заслонку

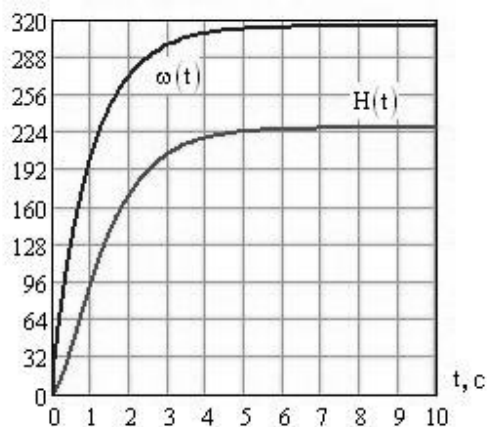


Рис. 2. Изменение угловой скорости вращения и напора агрегата при прямом пуске МНА с закрытой заслонкой. $H(t)$ – напор МНА, м; $\omega(t)$ – угловая частота вращения, 1/с

При этом процессе пуск МНА осуществляется при закрытой заслонке. Скорость и напор агрегата через 6 секунд приобретают установившиеся значения, а регулирование режимов с помощью заслонки осуществляется после переходного процесса (рис.2).

Пуск агрегата с разными временами открытия заслонки

В этом режиме пуска системы заслонка начинает двигаться или одновременно с пуском агрегата, или с разными временами открытия заслонки в пределах времен переходного процесса МНА. Параметры гидросистемы и электромеханические характеристики привода заслонки представлены на рис. 3, 4, 5, 6,7.

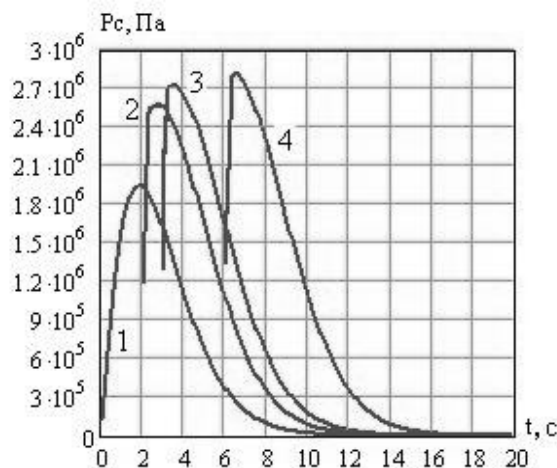


Рис. 3. Пуск МНА с разными временами открытия регулирующей заслонки. P_c – падение давления на заслонке, Па.

- 1 – прямой пуск с одновременным открытием заслонки;
- 2 – заслонка начинает открываться через 2 с после пуска МНА;
- 3 – заслонка начинает открываться через 3 с после пуска МНА;
- 4 – заслонка начинает открываться через 6 с после пуска МНА

Падение давления на заслонке увеличивается с увеличением времени задержки начала движения заслонки. Наименьшие потери давления наблюдаются при пуске агрегата с одновременным открытием заслонки (рис. 3).

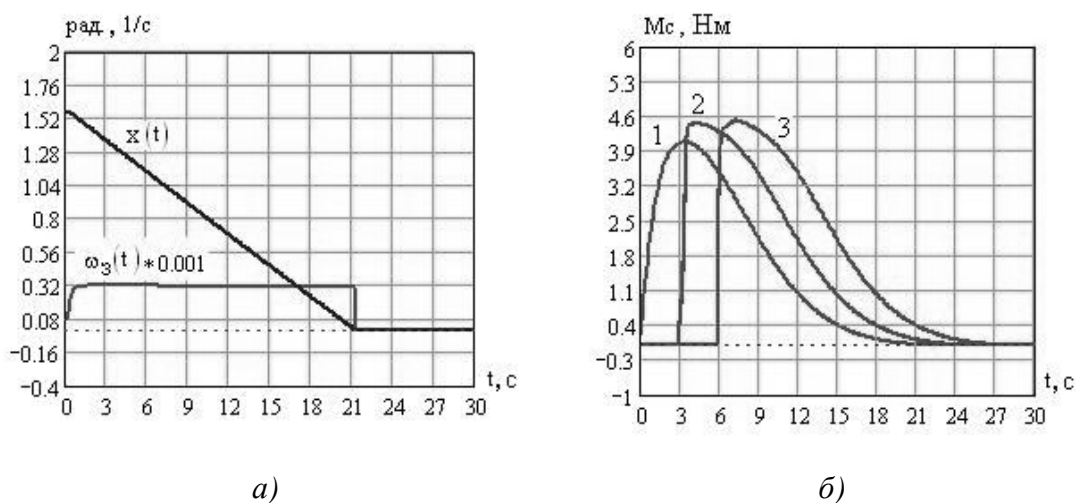


Рис. 4. а) – прямой пуск МНА с одновременным открытием регулирующей заслонки:
 x – угол открытия заслонки, рад; $\omega_3(t)$ – скорость вращения вала привода заслонки, 1/с;

б) M_c – момент нагрузки на валу привода заслонки, Нм:

1 – прямой пуск с одновременным открытием заслонки;

2 – заслонка начинает открываться через 3 с после пуска МНА;

3 – заслонка начинает открываться через 6 с после пуска МНА

Минимальный момент сопротивления на валу привода заслонки наблюдается при пуске агрегата с одновременным открытием заслонки (рис. 4,б).

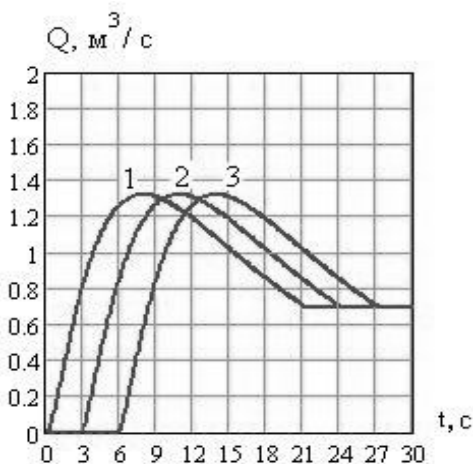


Рис. 5. Q – расход жидкости в заслонке, м³/с:

1 – прямой пуск с одновременным открытием заслонки;

2 – заслонка начинает открываться через 3 с;

3 – заслонка начинает открываться через 6 с

Качественная картина расхода жидкости в заслонке в зависимости от времени начала движения практически не меняется. Происходит сдвиг временной кривой объёмного расхода жидкости на величину времени задержки включения (рис.5). Превышение объёмного расхода заслонки над установившимся значением указывает о начале режима объёмной кавитации в заслонке.

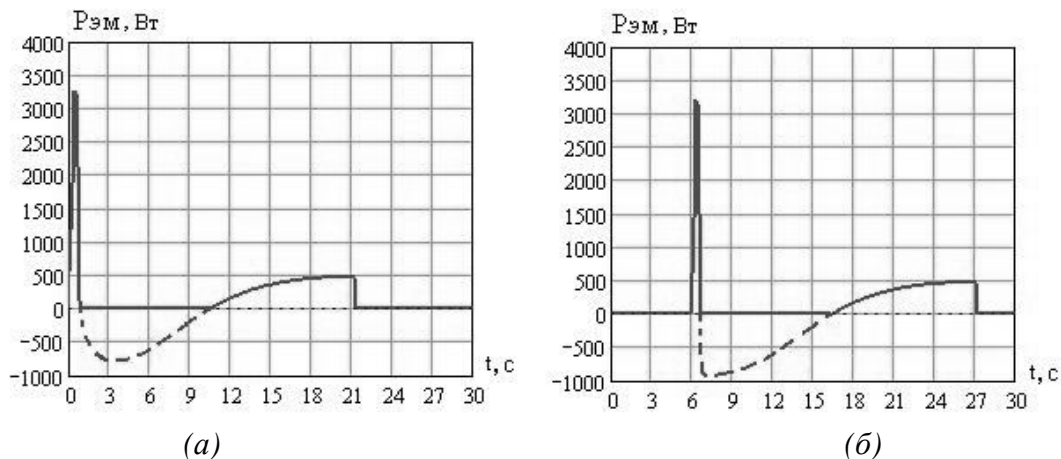


Рис. 6. $P_{эм}$ – электромагнитная мощность двигателя регулирующей заслонки, Вт:

- а) – прямой пуск с одновременным открытием заслонки;
- б) – заслонка начинает открываться через 6 с после пуска МНА

Кривые электромагнитной мощности асинхронного двигателя привода заслонки качественно мало отличаются от времени включения привода заслонки (рис. 6). За счет нелинейности момента сопротивления на валу заслонки, привод из двигательного режима работы может перейти в режим динамического торможения (пунктирная линия $P_{эм}$), но за счет тормозного фиксирующего момента червячного редуктора режим динамического торможения отсутствует.

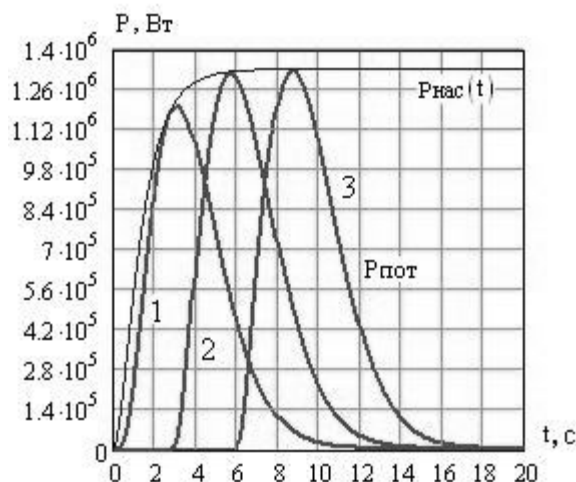


Рис. 7. Гидравлическая мощность МНА.

$P_{нас}$ и $P_{пот}$ – потери гидравлической мощности при разных временах включения двигателя заслонки:

- 1 – прямой пуск с одновременным открытием заслонки;
- 2 – заслонка начинает открываться через 3 с;
- 3 – заслонка начинает открываться через 6 с после пуска МНА

Потери мощности на регулирующей заслонке в процессе пуска МНА растут с увеличением времени задержки включения привода (рис.7). Это увеличение возможно только во время переходного процесса пуска МНА. В установившемся режиме потери неизменны.

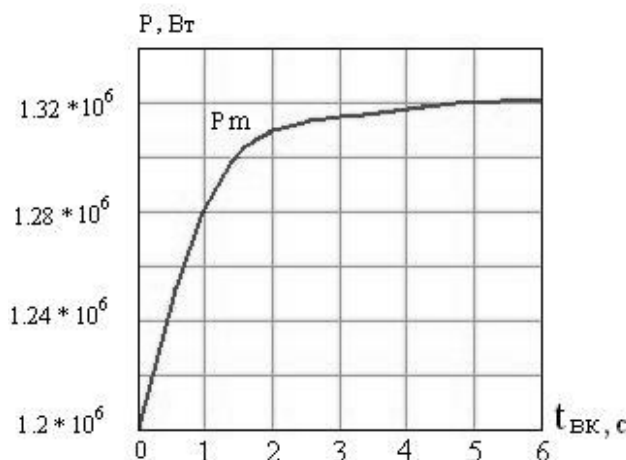


Рис. 8. Максимальные значения потерь мощности P , Вт на заслонке в зависимости от времени включения привода заслонки

В процессе достижения зоны регулируемых углов открытия заслонка должна преодолеть зону углов максимальных потерь гидравлического давления и мощности.

Максимальные значения момента сопротивления на валу привода заслонки, перепада давления на заслонке, потери гидродинамической мощности на заслонке, зависят от времени включения привода заслонки. Причем, с увеличением выдержки включения эти значения возрастают (рис.8).

Максимальные значения потерь на регулирующей заслонке лежат на временной характеристике переходного процесса увеличения гидравлической мощности МНА (рис.7).

Самыми предпочтительными режимами пуска агрегата с точки зрения уменьшения потерь гидродинамической мощности являются: режим пуска агрегата на открытую заслонку и режим пуска агрегата с одновременным открытием заслонки.

Самыми энергоёмкими режимами являются: режим пуска агрегата на закрытую заслонку и режим с большой выдержкой времени включения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благов Э.Е., Ивницкий Б.Я. Дроссельно-регулирующая арматура ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
2. Гуревич Д.Ф. Расчет и проектирование трубопроводной арматуры. – Л.: Машиностроение, 1969. – 886 с.
3. Зайцев Л.А. Регулирование режимов работы магистральных нефтепроводов. – М.: Недра, 1982. – 240 с.

Рецензент: Лукутин Борис Владимирович. Докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Национального исследовательского Томского политехнического университета.