

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОПРИВОДА

Постоев П.Н., Цыганкова А.В.

Научный руководитель — профессор Емельянов Р.Т.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Процесс разогрева рабочей жидкости дросселированием широко известен из литературных источников. При дросселировании энергия гидравлической установки полностью переходит в тепло, вызывая нагрев жидкости. Повышение температуры жидкости при проходе ею дроссельной щели определяется по формуле:

$$\Delta t = t^0 - t_{\text{в}}^0 = \frac{\Delta P}{\gamma C_m R},$$

где Δt – повышение температуры жидкости; t^0 – искомая температура жидкости; $t_{\text{в}}^0$ – начальная температура жидкости; ΔP – перепад давления в щели; γ – объемный вес жидкости; C_m – удельная теплоемкость жидкости; R – механический эквивалент тепла.

Работа гидропривода дорожных машин сопровождается нагревом рабочей жидкости в золотниках гидрораспределителя и в специальных устройствах – дросселях. Дросселирование рабочей жидкости уменьшает её вязкость. Вязкость рабочей жидкости оказывает непосредственное влияние на рабочие процессы и явления, происходящие в гидроприводе. Действие вязкости неоднозначно и требуются тщательные исследования, чтобы дать рекомендации оптимальной вязкости для конкретного гидропривода. Изменение вязкости является критерием достижения предельного состояния рабочей жидкости. При чрезмерно высокой вязкости силы трения в жидкости настолько значительны, что могут привести к нарушению сплошного потока. При этом рабочие камеры насоса не заполняются, возникает кавитация, снижается подача, ухудшаются показатели надежности.

При низких температурах вязкость рабочей жидкости повышается и при температуре застывания может достигать нерабочего состояния. Высокая вязкость рабочей жидкости позволяет снизить утечки через зазоры и щелевые уплотнения, при этом объёмный КПД увеличивается. Высокая вязкость одновременно увеличивает и трение в трущихся парах и снижает механический КПД. Одновременно снижается и гидравлический КПД, так как возрастают гидравлические потери.

Значение кинематической вязкости рабочей жидкости с достаточной степенью точности определяется обобщенным уравнением аппроксимации, использованным в дополнительной подпрограмме:

$$\nu = \exp(A - C * \ln T),$$

где T – температура рабочей жидкости; A и C – коэффициенты, зависящие от температуры рабочей жидкости.

При разработке тепловой модели рециркуляционной системы гидропривода приняты следующие допущения: в гидроприводе с дроссельным разогревом отсутствуют внешние утечки; в напорной и сливной гидролиниях отсутствует разрыв сплошного потока; гидравлические сопротивления в каналах гидронасоса и гидромотора незначительны и постоянны; рабочая жидкость имеет постоянный модуль упругости; утечки в дросселе отсутствуют; динамические процессы рассматриваются при малых отклонениях параметров от их установившихся значений; свойства обрабатываемого потока неизменны во времени и не зависят от длины аппарата; температура стенки –

среднеинтегральная по толщине; тепловой поток в аксиальном направлении пренебрежимо мал; коэффициенты теплоотдачи постоянны по всей длине аппарата.

В зависимости от температуры окружающего воздуха необходимое количество тепла определяется по формуле

$$Q_n = K_{cp} \sum F_i \Delta T,$$

где K_{cp} – коэффициент теплопередачи от рабочей жидкости через элементы гидропривода окружающему воздуху; F_i – площадь внешней поверхности элементов гидропривода.

Среднее значение коэффициента теплопередачи можно определить аналитически по формуле

$$K_{cp} = \frac{Q_n dt (c_i J_i) \Delta T}{\sum F_i dt},$$

где c_i – средняя удельная теплоемкость гидропривода; J_i – масса элементов гидропривода; ΔT – приращение температуры рабочей жидкости в гидробаке.

Для определения коэффициента теплопередачи K_{cp} необходимо знать величину Q_n . Ее можно определить по формуле

$$Q_n = \frac{\Delta P \omega_{дн} R}{612} \left(\frac{1}{\eta_{об}} - 1 \right),$$

где ΔP – разность давлений между сливной и напорной магистралями; $\omega_{дн}$ – действительная производительность насоса; $\eta_{об}$ – общий к.п.д.; R – коэффициент эквивалентности.

Тепловое состояние гидропривода в любой момент времени после пуска машины определяется по уравнению теплового баланса

$$(Q_{zn} + Q_{dp}) d\tau = c_{zn} m_{zn} dT + k_{zn} F_{zn} (T - T_0) d\tau,$$

где $(Q_{zn} + Q_{dp}) d\tau$ – количество теплоты, выделяемое в гидроприводе за время $d\tau$; $c_{zn} m_{zn} dT$ – количество теплоты, затрачиваемое на нагрев гидрооборудования и рабочей жидкости до температуры dT ; $k_{zn} F_{zn} (T - T_0) d\tau$ – количество теплоты, рассеиваемое в окружающую среду за время $d\tau$.

Температура нагрева рабочей жидкости определяется по уравнению

$$T_{ж} = \frac{Q_{zn} \pm Q_m}{k_{zn} \cdot F_{zn}} \left[1 - \exp \frac{-t \cdot k_{zn} \cdot F_{zn}}{m_{zn} \cdot c_{zn}} \right] + (n \cdot T_0),$$

где $(Q_{zn} + Q_{dp})$ – количество теплоты, выделяемое в гидроприводе за время $d\tau$; $c_{гп}$ – средняя удельная теплоемкость гидропривода; $K_{гп}$ – коэффициент теплопередачи; $F_{гп}$ – площадь внешней поверхности элементов гидропривода; $m_{гп}$ – масса элементов гидропривода; T_0 – температура рабочей жидкости в настоящий момент; n – число циклов дросселирования рабочей жидкости.

Модель, описывающая разогрев рабочей жидкости в среде «Matlab+Simulink», приведена на рис. 1.

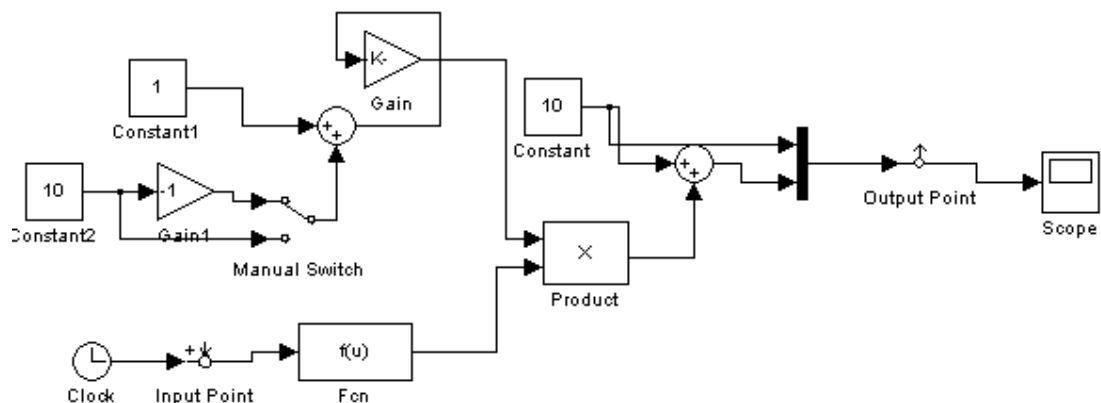


Рис. 1. Модель разогрева рабочей жидкости в среде «Matlab+Simulink»

Начальные условия: $(Q_{zn} + Q_{dp})$ – количество теплоты, выделяемое в гидроприводе за время $d\tau$; $c_i = 0,453$; $K_{гн} = 20$; $F_i = 1,5$; $m_{гн} = 120$; $T_0 = -60^0\text{C}$; $P_{вх} = 10 \times 10^6 \text{ Па}$; $P_{вых} = 10^6 \text{ Па}$.

По результатам моделирования получены зависимости температуры рабочей жидкости, изображенные на рис. 2.

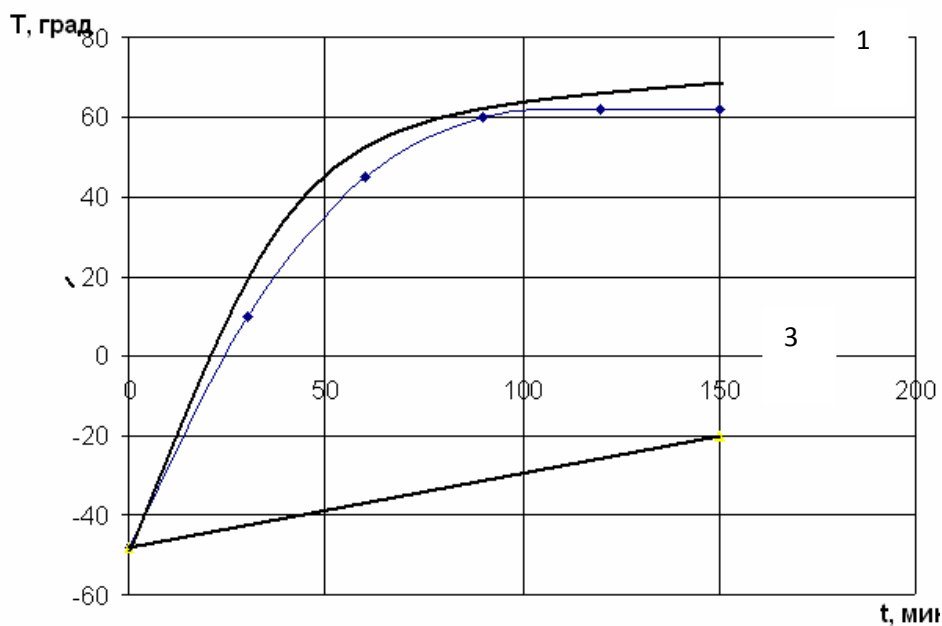


Рис. 2. Зависимость нагрева рабочей жидкости

1 – теоретическая зависимость повышения температуры в теплообменниках;

2 – экспериментальная зависимость температуры в теплообменниках;

3 – экспериментальная зависимость повышения температуры в гидроцилиндре

Анализ уравнений теплового баланса гидросистемы показал, что дросселирование рабочей жидкости обеспечивает нагрев рабочей жидкости до температуры 60^0C за 100 минут при температуре окружающего воздуха -50^0C . Интенсивность нагрева рабо-

чей жидкости зависит от количества тепла, выделяемого на дросселе за один цикл циркуляции, и от скорости движения рабочей жидкости.