

УДК 622.232.5:532.517.6:532.232.72

**В. В. Гулин**, инженер, **В. П. Овсянников**, канд. техн. наук, доц.  
Донецкий национальный технический университет

## **ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГЕНЕРАТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ОТ НЕЯВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА**

*Рассмотрено влияние теплового режима работы гидропневмоаккумулятора, определяемого коэффициентом политропы, на рабочий процесс генераторов импульсной струи воды.*

**аккумулятор гидропневматический, режим рабочий, генератор импульсной струи, показатель политропы**

*Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.* Применение струи воды во многих случаях позволяет реализовать оптимальный процесс разрушения, учитывающий свойства материала (например, наличие трещин, хрупкость или значительно меньшую сопротивляемость разрушению напряжениям растяжения в сравнении с напряжениями сжатия), и тем самым значительно уменьшить затраты энергии. Использование импульсной струи воды позволяет получить влажность отбитого материала на уровне приемлемом для транспортирования традиционными средствами без применения энергоемкого гидротранспорта. Вместе с тем, при необходимости, или при наличии дополнительных преимуществ, возможно и его использование.

Опыт Донецкого национального технического университета по разработке и эксплуатации устройств для создания импульсных струй (генераторов импульсных струй – ГИС), выполненных по разнообразным схемам, показывает, что каждое из них представляет собой сложную гидродинамическую систему, рабочий процесс которой определяется большим числом факторов и только определенные сочетания факторов обеспечивают устойчивый рабочий процесс с заданными параметрами струи. При этом в процессе испытаний отмечено, что, даже при зафиксированных на оптимальных значениях явных параметрах, в некоторых случаях процесс взаимодействия струи с разрушаемым материалом изменяется (как в сторону ухудшения, так и улучшения) или становится неустойчивым - возникают перебои в работе либо внезапные остановки. Последующий пуск, через непродолжительный промежуток времени, восстанавливает рабочий режим.

Поиск и учет причин подобного поведения позволит устранить отмеченные негативные явления, что является актуальной научной и практической задачей.

### ***Анализ исследований и публикаций.***

Исследованиям колебаний в гидравлических системах уделяется большое внимание. Публикации по данной тематике весьма многочисленны. Из наиболее близких работ, посвященных рассматриваемому вопросу, можно отметить работу [1], в которой рассмотрен вопрос поиска рабочих областей изменения параметров. В работе [2] показано, что, в самом общем случае, работа ГИС с гидропневмоаккумулятором (ГПА) в качестве устройства накопления энергии зависит от трех критериев на которых построена обобщенная имитационная модель ГИС. Разработанная имитационная модель ГИС дает возможность исследовать устойчивые, неустойчивые и не расчетные режимы работы ГИС. Это позволяет получить безразмерные обобщенные области изменения найденных критериев, в которых обеспечиваются качественные режимы работы устройств данного класса.

### ***Постановка задачи.***

При исследовании функционирования ГИС, с целью определения условий обеспечивающих устойчивый режим их работы, а также для определения поведения этих устройств при изменении температуры и условий взаимодействия узлов генератора с окружающей средой, необходимо оценить влияние таких параметров как показатель политропы, характеризующего процессы изменения состояния газа в газовой полости ГПА и начальной энергии этого газа. ГПА является одним из основных элементов определяющих рабочий процесс всего класса рассматриваемых устройств. Показатель политропы является неявным параметром устройства, поскольку не может быть проконтролирован инструментальными средствами и его значение формируется в процессе работы ГИС на основе взаимодействия подводимого потока, всех узлов и окружающей среды. Воздействие на данный показатель возможно только путем реализации конструктивных решений, направленных на изменение условий теплообмена с окружающей средой. Данные решения можно применить лишь на этапе разработки системы, и они должны быть обоснованы. Возникает задача оценки влияния показателя политропы на рабочий процесс ГИС.

### ***Изложение материала и результаты.***

С учетом обозначений, введенных в [2], и основываясь на выводах этой статьи, будем считать что, работа ГИС с гидропневмоакку-

мулятором в качестве устройства накопления энергии зависит от таких основных безразмерных параметров.

1.  $k_p$  - коэффициент чувствительности, системы управления;
2.  $\tilde{a}_n$  - безразмерное гидравлическое сопротивление рабочего насадка;
3.  $m$  - показатель политропы который определяется тепловым режимом работы гидропневмоаккумулятора.

На рисунке 1 показана обобщенная схема энергетических потоков при работе генератора гидравлических импульсов.

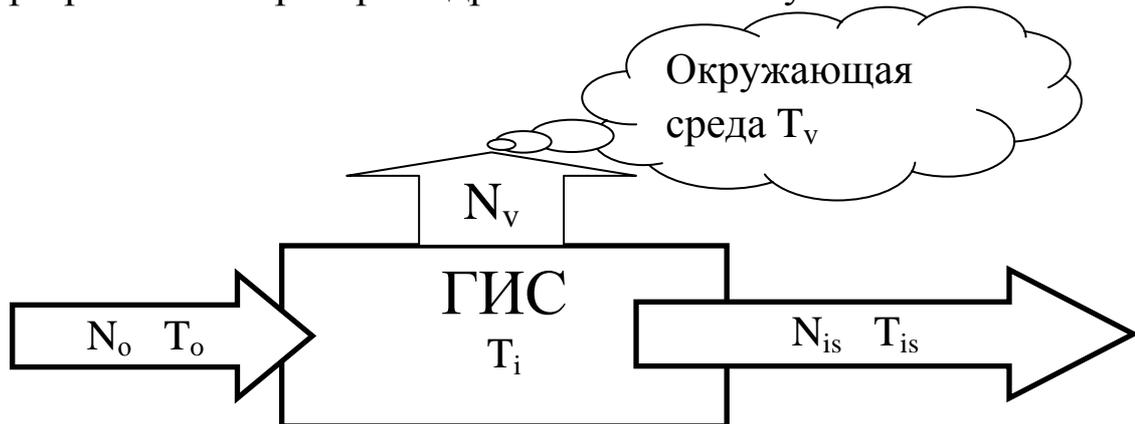


Рисунок 1 - Обобщенная схема энергетических потоков при работе генератора гидравлических импульсов

На рисунке обозначены:

$T_v$  – температура окружающего воздуха;

$N_v$  – мощность теплового потока от корпусов узлов ГИС;

$N_o, T_o$  – мощность и температура потока жидкости, поступающего от источника питания;

$T_i$  - температура корпуса генератора гидравлических импульсов;

$N_{is}, T_{is}$  – средние за цикл мощность и температура импульсного потока жидкости.

Очевидно, что в установившемся режиме работы

$$N_o \equiv N_v + N_{is}, \quad (1)$$

Тождество (1) обязательно будет выполняться при установившемся режиме ГИС, что автоматически достигается за счет изменения  $T_i$ ,  $T_{is}$  и теплоотдачи от корпуса ГИС в окружающую среду. При этом изменяется коэффициент политропы  $m$ .

В процессе выхода системы на стабильный тепловой режим эти параметры также претерпевают изменения. Кроме того, в процессе эксплуатации возможно изменение условий передачи потока  $N_v$  за счет, например, изоляции узлов устройства слоем разрушенного ма-

териала, что характерно, например, для гидроимпульсных машин для отбойки угля.

Учитывая что, условие равенства давления источника питания –  $p_0$  максимальному давлению в импульсе  $p_{\max}(t)$  и давлению начальной закачки ГПА -  $p_0 \approx p_{\max}(t)$  справедливо далеко не во всех случаях, целесообразно ввести четвертый безразмерный коэффициент  $\tilde{p} \approx p_{\max}(t) / p_0$ , характеризующий давление начальной закачки ГПА.

Приведенные выше безразмерные параметры можно разделить на две группы:  $k_p$  и  $\tilde{a}_n$  - определяются исключительно конструктивными размерами элементов ГИС и не изменяются, сколь-нибудь существенно при работе устройства. Величина  $\tilde{p}$  может быть легко изменена в ходе эксплуатации путем изменения давления закачки газа в гидропневмоаккумулятор. Показатель политропы  $m$  никак не контролируется и может варьироваться за счет изменения условий теплоотдачи в окружающую среду, что определяется в основном температурой корпуса ГИС -  $T_i$ .

Таким образом, параметры  $\tilde{p}$  и  $m$  являются неявными в том смысле, что они не определяются на стадии конструирования устройства, а определяются либо перед началом его эксплуатации либо существенно и неконтролируемо, изменяются при работе.

На рисунке 2 представлена имитационная модель ГИС в среде визуального программирования Simulink [4], отличающаяся от аналогичной рассмотренной в [2], наличием рядом дополнительных блоков 1, 2, 3 учитывающих неявные параметры устройства. Для большей наглядности результатов моделирования рассматривалась реальная машина [3] и результаты представлены в размерном виде [5].

Таким образом, будем считать что

$$W(t) = \begin{cases} W_{\min} & \text{если } \int_0^t (Q_o - Q_N(\tau)) \cdot d\tau \leq W_{\min} \\ \int_0^t (Q_o - Q_N(\tau)) \cdot d\tau & \text{если } W_{\min} \leq \int_0^t (Q_o - Q_N(\tau)) \cdot d\tau \leq W_o, \\ W_o & \text{если } \int_0^t (Q_o - Q_N(\tau)) \cdot d\tau \geq W_o \end{cases} \quad (2)$$

где  $W(t)$  - текущий объём воздуха в гидропневмоаккумуляторе;

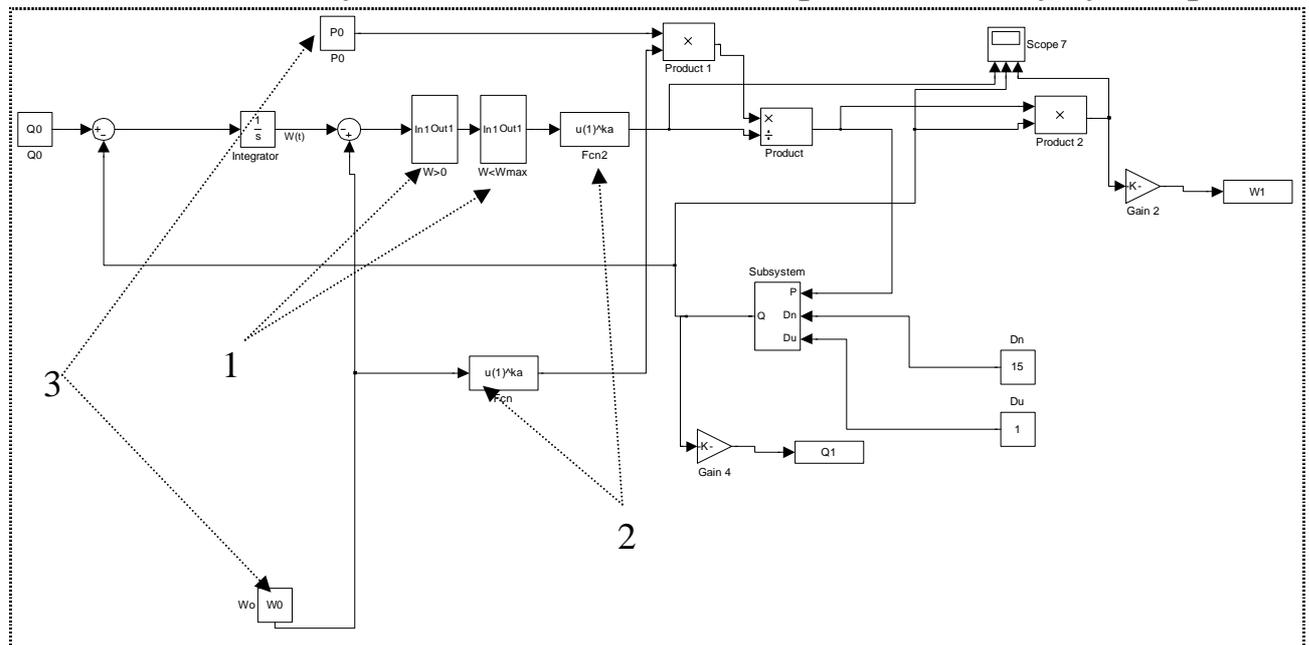
$W_{\min}$ ,  $W_o$  - соответственно минимально возможный объём воздуха и геометрический объём гидропневмоаккумулятора;

$Q_o, Q_N$  - соответственно, подача питающего насоса и расход через рабочую насадку;

$t, \tau$  - соответственно, независимая переменная – время и постоянная интегрирования  $0 \leq \tau \leq t$ .

$$p(t) = \frac{W_0^m \cdot p_0}{(W_0 - W(t))^m} \quad (3)$$

где  $p(t)$  - текущее давление газа в гидропневмоаккумуляторе.



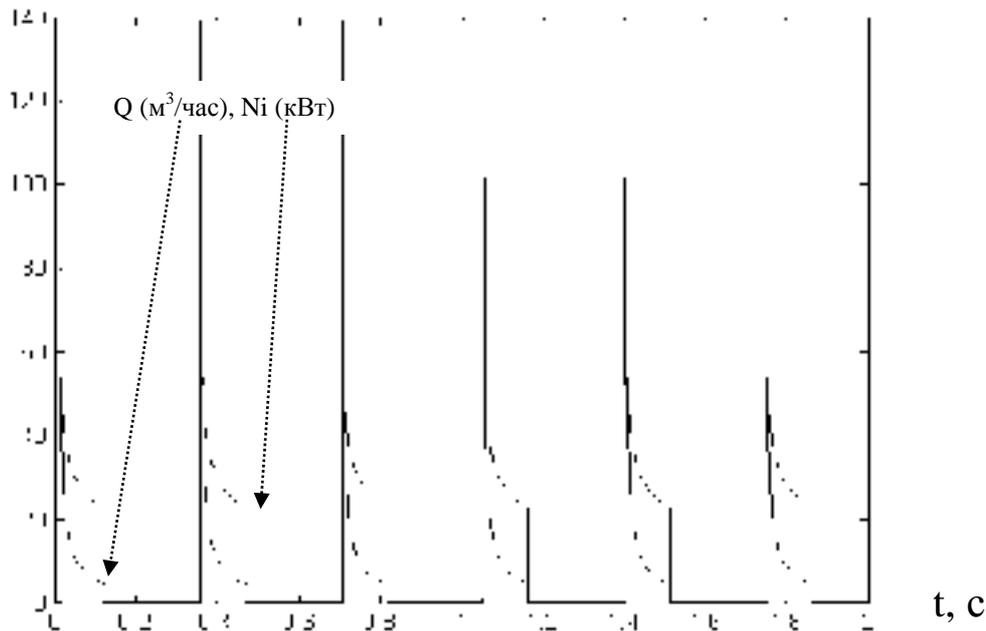
- 1 – блоки, учитывающие ограничения на величину объёма газа в ГПА;
- 2 – блоки, учитывающие влияние коэффициент политропы  $m$  на процессы сжатия расширения газа;
- 3 – блоки, учитывающие параметры гидропневмоаккумулятора.

Рисунок 2 - Имитационная модель ГИС, учитывающая ограничения на величину объёма ГПА и влияние показателя политропы на характеристики импульсной струи

Причем коэффициент политропы  $m$  может изменяться от 1 до 1,4. Будем рассматривать все режимы сжатия газа в гидропневмоаккумуляторе от изотермического до адиабатного ( $1 \leq m \leq 1,4$ ). Результаты моделирования представлены в виде графиков на рисунке 3. Эти графики отображают изменение расхода жидкости через насадку ГИС во времени, а также в дополнение приведена мощность импульсного

потока. Из этих графиков видно, что изменение коэффициента  $m$  оказывает существенное влияние на частоту следования импульсов формируемых ГИС -  $f_n$ .

а)



б)

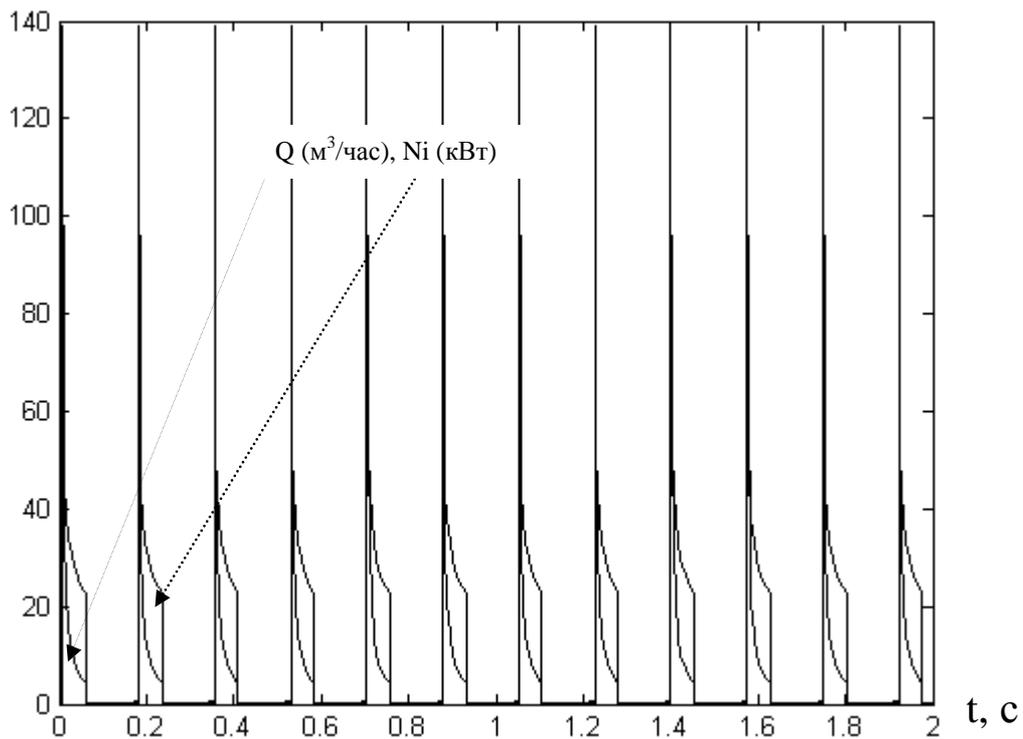


Рисунок 3 - Изменение расхода жидкости и мощности потока при работе генератора гидравлических импульсов  
а) - процессы в ГПА изотермические;  
б) - процессы в ГПА адиабатные

На рисунке 4 показана зависимость частоты следования импульсов от величины коэффициента  $m$  для реальной ГИС [3] и соответствующее ей линейное уравнение регрессии.

$$f_n = 7,5m - 4,3, \quad (4)$$

Как видно из графика на рисунке 4, полученная зависимость (4) адекватна ( $R^2=1$ ) и доказывает, что изменение неявно заданного параметра устройства  $m$  оказывает существенное влияние на частоту следования импульсов.

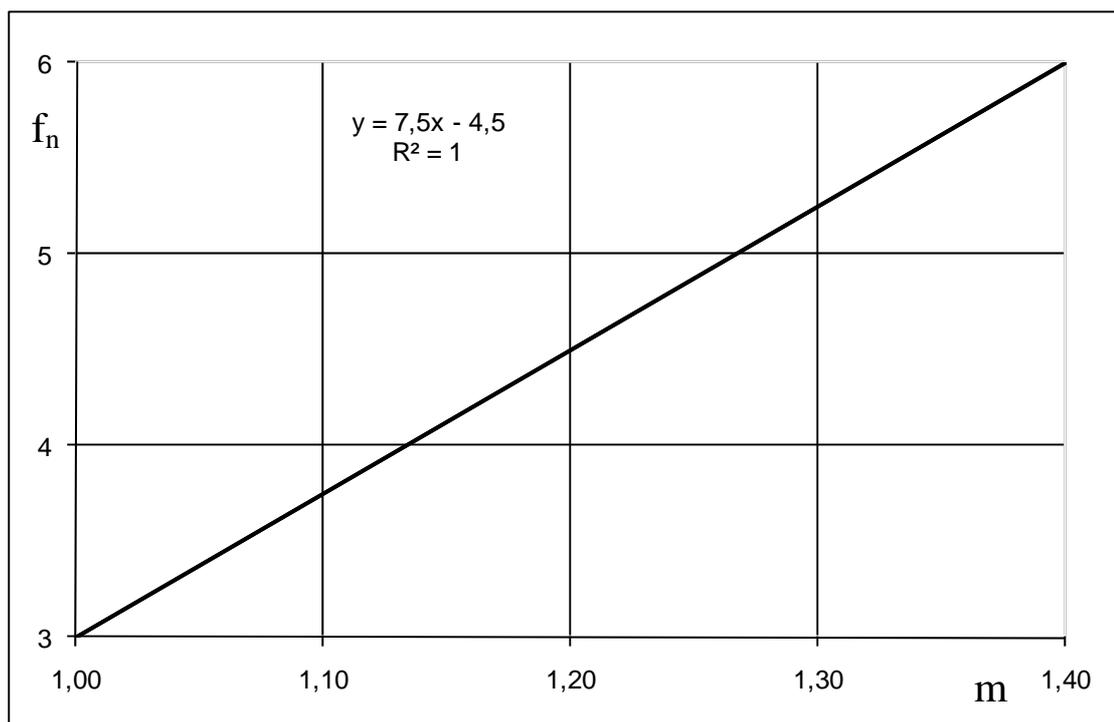


Рисунок 4 - Зависимость частоты колебаний генератора гидравлических импульсов от коэффициента политропы рабочего процесса в ГПА

### ***Выводы и направление дальнейших исследований***

На основании выполненных исследований, показано, что работа ГИС с гидропневмоаккумулятором в качестве устройства накопления энергии существенно зависит от неявно заданного параметра - коэффициента политропы, который изменяется в зависимости от условий взаимодействия и температуры окружающей среды. Установлено влияние режима сжатия и расширения газа в ГПА, оцениваемого показателем политропы, на частоту импульсов потока. В дальнейшем необходима разработка требований к конструкторским решениям при проектировании устройств различного технологического назначения.

Список источников.

1. Бугрик В.А. Овсянников В.П. Исследование динамики гидроимпульсаторов-накопителей. Разработка месторождений полезных ископаемых Республиканский межведомственный научно-технический сборник –1991. Выпуск 88. С.40-45.
2. Гулин В.В., Овсянников В.П. Обобщенная имитационная модель рабочего процесса генераторов импульсных струй. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 12 (113) , серія гірничо-електромеханічна. - Донецьк: ДонНТУ, 2006.- С. 84-91.
3. Гидроимпульсное устройство / Тимошенко Г.М., Гулин В.В., Тимошенко В.Г., Селивра С.А. / Патент Украины № 6173. Приоритет от 20.02.91г. МКИ E21 C 45/00.
4. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7 (Самоучитель) – М: НТ Пресс, 2006.- 464 с.
5. Тимошенко Г.М. Подобие гидроимпульсаторов горных машин. Разработка месторождений полезных ископаемых Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – 1981. Выпуск 58. С. 100 - 104.

Стаття надійшла до редколегії 22.10.2009

Рецензент: докт. техн. наук, проф. А. П. Кононенко

**В.В.Гулін, В.П.Овсянніков.** Залежність характеристик робочого процесу генератора гідравлічних імпульсів від неявних параметрів пристрою. Розглянуто вплив теплового режиму гідропневматичного акумулятора, який визначається коефіцієнтом політропи, на робочий процес генераторів імпульсного струменю води.

**акумулятор гідропневматичний, режим робочий, генератор імпульсного струменю, показник політропи**

**V.Gulin, V.Ovsyannikov.** The Influence of Implicit Parameters on Hydroimpulse Generator Performance. The paper describes the influence of hydropneumatic accumulator thermal conditions on the performance of hydroimpulse generator.  
**hydropneumatic accumulator, operating mode, pulse jet generator, polytropic exponent**

© В. В. Гулін, В. П. Овсянніков, 2009