

ОБОБЩЕННАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГЕНЕРАТОРОВ ИМПУЛЬСНЫХ СТРУЙ

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

Найдены критерии, по которым, путем построения имитационной модели с использованием ЭВМ, оптимизируется рабочий процесс генераторов импульсной струи воды, построенных на основе гидро-пневматических аккумуляторов.

The criteria are found, on which, by construction of imitating model with use of the computer, the working process of generators of a pulse jet of water constructed is optimized on the basis of hydro-pneumatic accumulators.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Во многих отраслях промышленности используются водяные струи для разрушения различных материалов. Применение импульсной струи во многих случаях позволяет реализовать оптимальный процесс разрушения, учитывающий свойства материала (например, хрупкость), и тем самым значительно уменьшить затраты энергии, снизить влажность отбитого материала.

Для создания импульсных струй используются генераторы, выполненные по разнообразным схемам. В Донецком национальном техническом университете разработан ряд принципиальных схем генераторов импульсной струи. Одним из примеров может служить устройство, описание которого приведено в [1]. Опыт разработки и эксплуатации устройств данного класса показывает, что каждое из них представляет собой сложную гидродинамическую систему, рабочий процесс которой определяется большим числом факторов. При этом только определенные сочетания факторов обеспечивают устойчивый рабочий процесс с заданными параметрами струи. В некоторых случаях, вызванных отклонениями от расчетных значений, рабочий процесс становится неустойчивым, либо не обеспечивающим необходимые свойства импульсной струи. Поиск критериев, позволяющих, еще на этапе проектирования оценить рабочий процесс генератора и сформировать необходимые зависимости и соотношения между факторами, является актуальной научной задачей. Найденные критерии могут служить основой для дальнейшего развития теории и

решения практических задач при проектировании генераторов импульсных струй (ГИС) различного назначения.

Анализ исследований и публикаций.

Вопросу исследования колебаний в гидравлических системах уделяется большое внимание. Публикации по данной тематике весьма многочисленны. Из наиболее близких работ, посвященных рассматриваемому вопросу, можно отметить работу [2], в которой рассмотрен вопрос поиска рабочих областей изменения параметров. Вместе с тем, изложенные в этой работе результаты, применимы к конкретной схеме генератора в случае изменения только одного параметра при зафиксированных в сравнительно узких диапазонах значениях остальных. Это обстоятельство не позволяет распространить полученные результаты на все подобные устройства.

Постановка задачи.

Для исследования функционирования схем генераторов с целью определения значений факторов и их сочетаний, при которых обеспечивается качественный рабочий режим, а также для оценки поведения системы при отклонении значений параметров от установленных, необходимы такие обобщенные критерии, использование которых возможно для всего класса рассматриваемых устройств. Кроме того, имитационное моделирование рабочего процесса таких устройств на ЭВМ позволяет быстро исследовать большое число вариантов сочетаний параметров, оценить влияние любого из них и произвести обоснованный выбор оптимальных значений на основе анализа выходного параметра объекта.

Изложение материала и результаты.

В качестве источника энергии в системах данного типа используется поршневой насос с жесткой (в рабочей зоне) напорной характеристикой. В этом случае подачу насоса можно зафиксировать на номинальном значении и мощность потока, поступающего в ГИС, может быть найдена из выражения.

$$N_0(t) = Q_0 \cdot p(t), \quad (1)$$

где $N_0(t)$ - текущая мощность потока, потребляемого генератором;

Q_0 - фиксированная подача поршневого насоса;

$p(t)$ - давление на входе в накопитель;

t - независимый параметр - время.

В качестве исполнительного органа накопителя может применяться насадок с гидравлическим сопротивлением a_n . Тогда величи-

нами $Q_n(t)$, $N_n(t)$ - можно обозначить текущий расход и мощность потока через рабочий насадок.

Очевидно, что мощность потока поступающего в устройство накопления равна $\Delta N(t) = N_0(t) - N_N(t) = (Q_0 - Q_N(t)) \cdot p(t)$, а накопленная в нем энергия:

$$E(t) = \int_0^t \Delta N(\tau) \cdot d\tau, \quad (2)$$

где τ - переменная интегрирования.

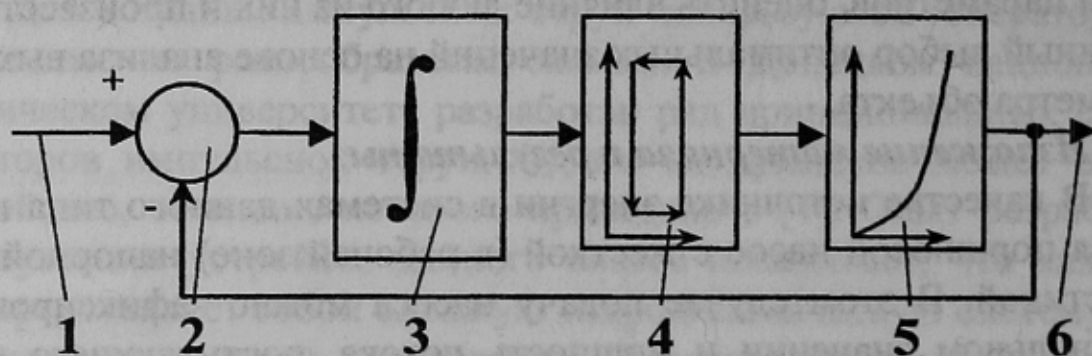
Характерной особенностью рассматриваемого класса устройств является накопление определенного объема жидкости, содержащего требуемую для разрушения энергию, в течение достаточно длительного промежутка времени и преобразование её в импульс с необходимой мощностью.

В этом случае уравнение (2) с учетом выражения (1) будет иметь вид:

$$E(t) = \left[\int_0^t (Q_0 - Q_n(\tau)) \cdot d\tau \right] \cdot p(t), \quad (3)$$

где $W(t) = \int_0^t (Q_0 - Q_N(\tau)) \cdot d\tau$ - объем накопленной жидкости.

Учитывая приведенные замечания и данные из [3], обобщенную функциональную схему ГИС можно представить в виде рисунка 1.



1 – поток жидкости от насоса; 2 – устройство коммутации потоков жидкости; 3 – накапливающее устройство; 4 – устройство управления 5 – рабочий орган; 6 – пульсирующий поток с высокой мощностью в импульсе.

Рисунок 1 - Обобщенная функциональная схема

Как показал опыт создания накопителей, в качестве накапливающего устройства 3 на настоящем этапе целесообразно использовать гидропневматические аккумуляторы (ГПА) [3].

В этом случае:

$$p(t) = \frac{W_0^m \cdot p_0}{(W_0 - W(t))^m}, \quad (4)$$

где W_0, p_0 - начальные геометрический объём и давление закачки воздуха в гидропневмоаккумулятор, причем $0 \leq W(t) \leq W_0$;

$1 \leq m \leq 1,4$ - показатель политропы, который определяется тепловым режимом работы ГПА (от изотермического до адиабатного).

Система управления с гистерезисной характеристикой определяется максимальным и минимальным давлениями срабатывания p_{\max} и p_{\min} . Исполнительный орган характеризуется гидравлическим сопротивлением рабочего насадка a_n и эквивалентным гидравлическим сопротивлением утечек a_u .

Таким образом, напорная характеристика исполнительного органа с учетом гистерезиса устройства управления 4 имеет вид, показанный на рисунке 2.

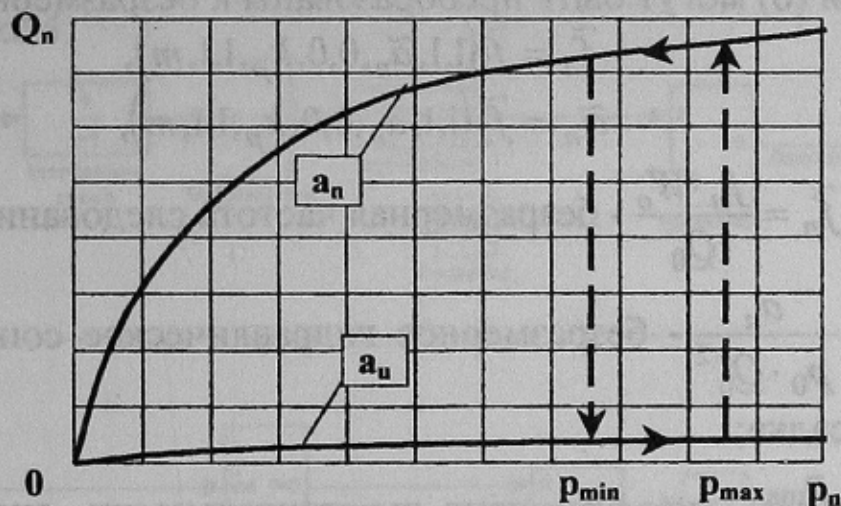


Рисунок 2 - Напорная характеристика исполнительного органа и системы управления накопителя

Выходными показателями (параметрами), характеризующими рабочий процесс в машинах, построенных на основе ГИС, является частота рабочих пульсаций потока энергии f_n и их скважность σ_n , которая для данного класса устройств совпадает с коэффициентом усиления мощности k_n [5].

Таким образом, для анализа работы рассматриваемого класса устройств, необходимо построить модель ГИС в форме зависимостей:

$$f_n = f_1(W_0, p_0, a_n, a_u, p_{\min}, p_{\max}, Q_0, p_{\max}(t), m), \quad (5)$$

$$\sigma_n = f_2(W_0, p_0, a_n, a_u, p_{\min}, p_{\max}, Q_0, p_{\max}(t), m), \quad (6)$$

где $p_{\max}(t)$ - максимальное давление в импульсе.

Эти зависимости целесообразно рассматривать в безразмерном виде [2].

В соответствии с теорией подобия, для решения этой задачи необходимо выбрать три базовых независимых параметра [5]. Поскольку Q_0 и $p_{\max}(t)$ определяются технологическими требованиями к ГИС, то их целесообразно использовать в качестве базовых. Эту систему базовых параметров нужно дополнить третьим, в качестве которого целесообразно выбрать начальный объем газовой полости гидропневмоаккумулятора W_0 .

Кроме того, в первом приближении, для идеальной системы управления можно считать, что $p_{\min} = 0$, $a_u \rightarrow \infty$.

Начальное давление газа в гидропневмоаккумуляторе определяется конкретной схемой реализации устройства накопления и может быть выбрано примерно равным максимальному давлению в импульсе $p_{\max}(t)$. Следовательно, можно считать, что $p_0 \approx p_{\max}(t)$.

С учетом сделанных допущений и выражений (2),(3) и (4) уравнения (5) и (6) могут быть преобразованы к безразмерному виду:

$$\tilde{f}_n = \tilde{f}_1(1, 1, \tilde{a}_n, 0, 0, k_p, 1, 1, m), \quad (7)$$

$$\tilde{\sigma}_n = \tilde{f}_2(1, 1, \tilde{a}_n, 0, 0, k_p, 1, 1, m), \quad (8)$$

где $\tilde{f}_n = \frac{f_n \cdot W_0}{Q_0}$ - безразмерная частота следования импульсов;

$\tilde{a}_n = \frac{a_n}{p_0 \cdot Q_0^{-2}}$ - безразмерное гидравлическое сопротивление ра-

бочего насадка;

$k_p = \frac{p_{\max}}{p_0}$ - коэффициент чувствительности, системы управления.

Естественно, что процессы, описываемые уравнениями (7) и (8) происходят во времени в зависимости от безразмерного параметра, который с учетом выбранных выше базовых коэффициентов, определяется равенством: $\varphi = \frac{t \cdot W_0}{Q_0}$.

Таким образом, доказано, что в самом общем случае работа ГИС с гидропневмоаккумулятором в качестве устройства накопления энергии зависит от трех критериев:

- а) коэффициента чувствительности, системы управления - k_p ;
- б) безразмерного гидравлического сопротивление рабочего насадка - \tilde{a}_n ;
- в) теплового режима работы гидропневмоаккумулятора, который определяется коэффициентом политропы - m .

На рисунке 3,а показана обобщенная имитационная модель ГИС, учитывающая влияние на его работу только трех полученных выше критериальных параметров в среде Matlab-Simulink [4]. Можно заметить сходство этой имитационной модели и обобщенной функциональной схемы ГИС, отображающей работу всего класса устройств. Это доказывает, что предложенная имитационная модель отображает основные черты рабочих процессов во всем рассматриваемом классе устройств. На рисунке 3,б показана имитационная модель системы управления ГИС и его исполнительного органа.

Предложенная имитационная модель накопителя, основанная на предложенной системе безразмерных параметров, позволяет найти параметры качественного рабочего процесса, пример которого приведен на рисунке 4.

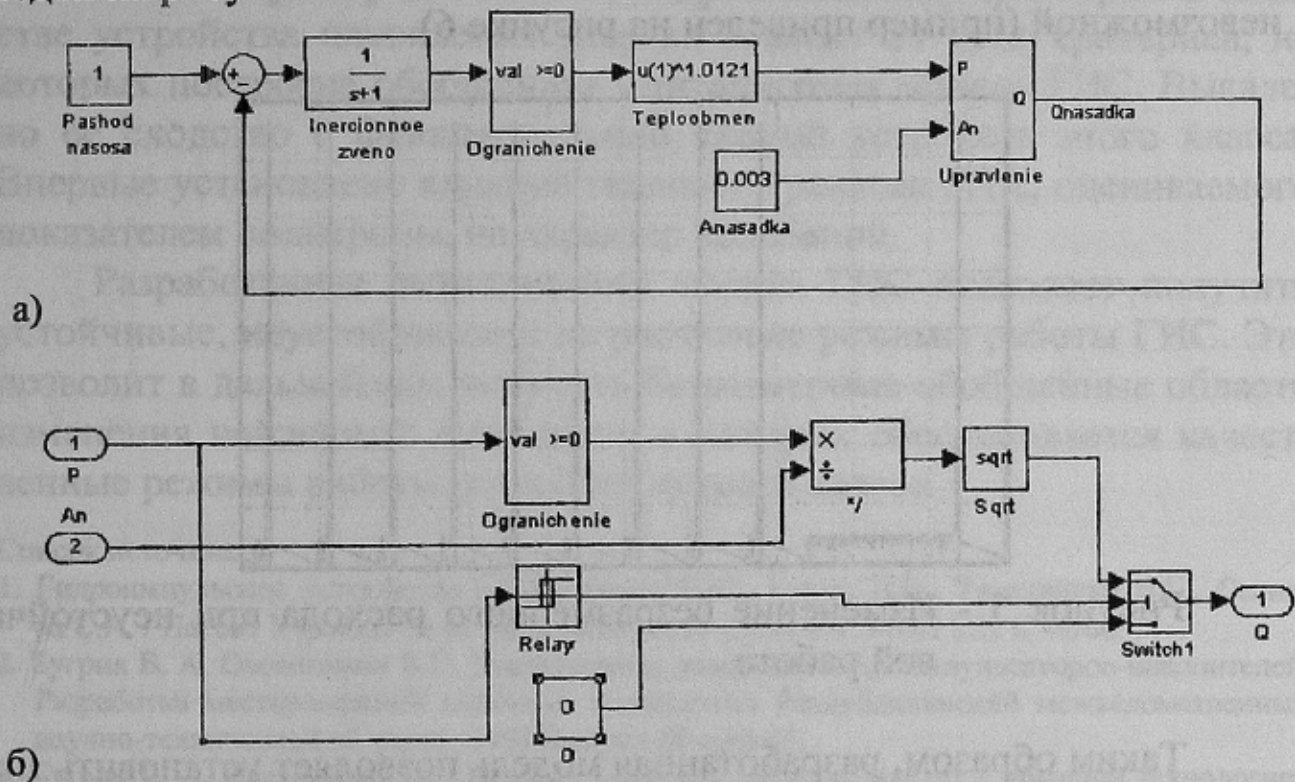


Рисунок 3 - Обобщенная имитационная модель ГИС: а) - исполнительная часть, б) – система управления

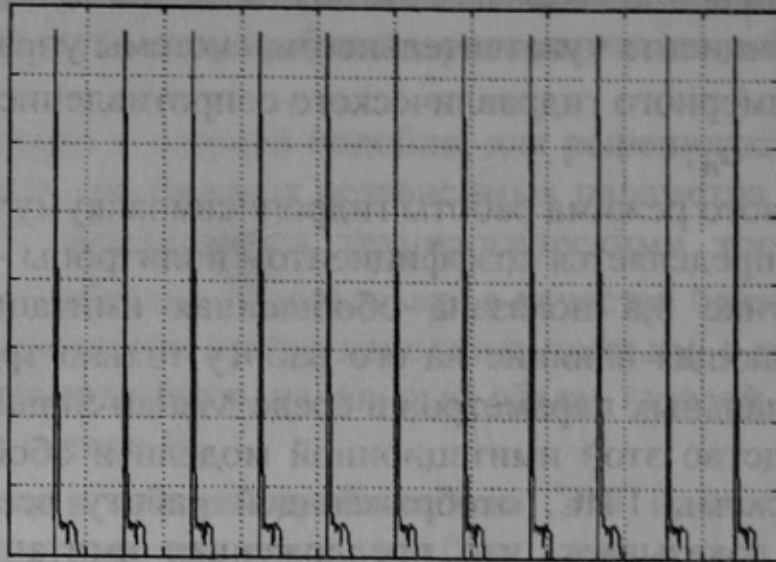


Рисунок 4 - Изменение безразмерного расхода на выходе ГИС при нормальной работе ГИС (качественный рабочий процесс)

Вместе с тем, при некоторых сочетаниях значений факторов рабочий процесс теряет устойчивость при сохранении величины $P_{\max}(t)$ (пример приведен на рисунке 5) или работа ГИС становится невозможной (пример приведен на рисунке 6).

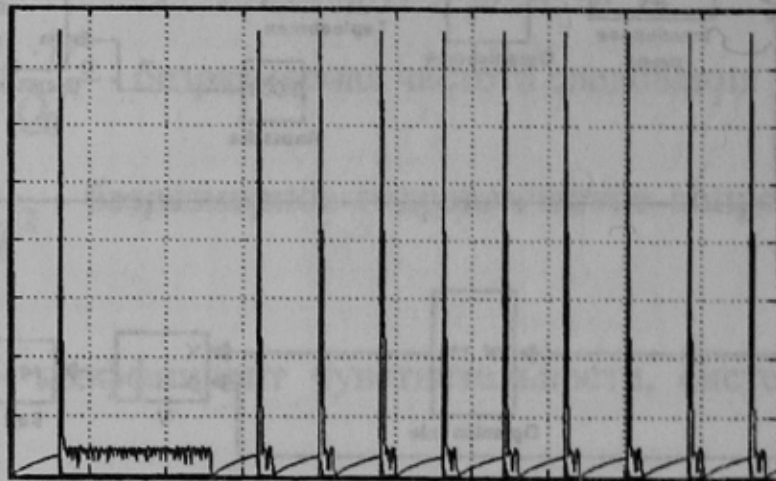


Рисунок 5 - Изменение безразмерного расхода при неустойчивой работе

Таким образом, разработанная модель позволяет установить значения критериев, при которых теряется работоспособность ГИС, возникают неустойчивые и неприемлемые по технологическим требованиям режимы работы.

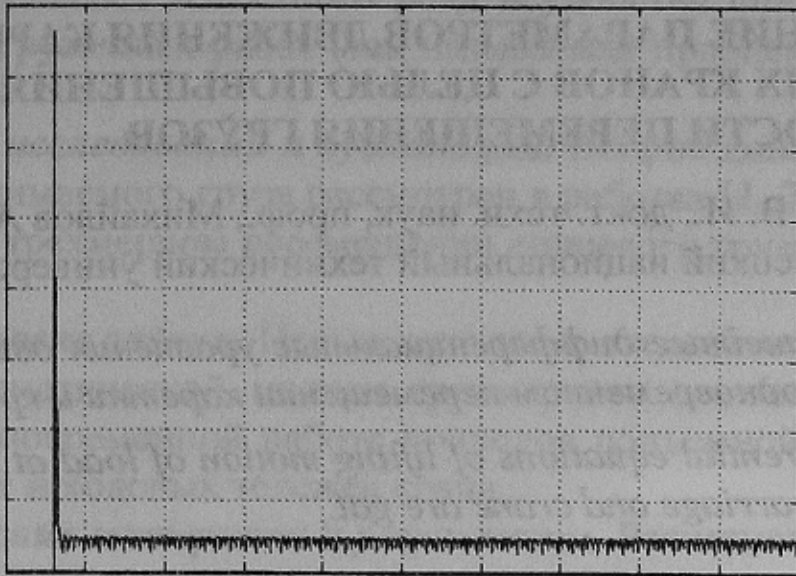


Рисунок 6 - Изменение безразмерного расхода в неработоспособной схеме

Выводы и направление дальнейших исследований

На основании выполненных исследований, показано, что в самом общем случае работа ГИС с гидропневмоаккумулятором в качестве устройства накопления энергии зависит от трех критериев, на которых построена обобщенная имитационная модель ГИС. Выявлено ее сходство с функциональной схемой устройств этого класса. Впервые установлено влияние теплового режима ГПА, оцениваемого показателем политропы, на характер колебаний.

Разработанная имитационная модель ГИС позволяет получить устойчивые, неустойчивые и не расчетные режимы работы ГИС. Это позволит в дальнейшем получить безразмерные обобщенные области изменения найденных критерием, в которых обеспечивается качественные режимы работы устройств данного класса.

Список источников

1. 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.
2. 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.
3. Бугрик В. А. Овсянников В.П. Ведение нарезных работ на шахтах с обычной технологией при использовании импульсных струй воды. Разработка месторождений полезных ископаемых Республиканский межведомственный научно-технический сборник –1991 Выпуск 87 с. 91-96.
4. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7 (Самоучитель) – М: ИТ 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.

Дата поступления статьи в редакцию: 05.11.06