



**ПРОГРАММА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОУДАРНИКОВ
ОДНОСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

Л. В. Городилов, Д. В. Вагин

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: gor@misd.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Представлена программа выбора параметров гидроударников одностороннего прямого и обратного действия, в основу которой положены табличные данные безразмерных характеристик гидроударных систем в пространстве их основных критериев подобия. Пользователю предоставляется возможность задавать набор стартовых параметров и характеристик гидроударной системы в виде их значений и возможных ограничений. Показано, что результатом работы программы является определение всех параметров, необходимых для эскизного проектирования гидроударного устройства. Программа разработана на языке Java, имеет графический интерфейс, включающий меню, панель инструментов, диалоговые окна ввода стартовых параметров и вывода таблицы вариантов основных параметров, а также размеров бойка и графиков динамических характеристик рабочих циклов.

Ударная система, критерии подобия, параметры, характеристики, программа, интерфейс, боек

**SOFTWARE FOR SELECTING PARAMETERS OF HYDRAULIC HAMMERS
OF ONE-WAY ACTION FOR WELL DRILLING**

L. V. Gorodilov and D. V. Vagin

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: gor@misd.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The presented software for selecting the parameters of hydraulic hammers of one-way direct and reverse action is presented, which is based on the tabular data of dimensionless characteristics of hydraulic percussion systems in the space of their basic similarity criteria. The program offers a user an opportunity of setting the initial parameters and characteristics of hydraulic percussion system in the form of their values and possible constrains. It is shown that software operation results in determination of all parameters required for the preliminary design of the hydraulic percussion device. The Java-based program has a graphical interface, including menus, toolbar, dialog boxes for input parameters and output tabular data representing the main parameters options, as well as striker sizes and plotted dynamic characteristics of the working cycles.

Percussion system, similarity criteria, parameters, characteristics, software, interface, striker

При разработке любой технической системы на начальном этапе необходимо выбрать ее основные параметры, что из-за большого количества вариантов представляется непростой задачей. В случае гидроударных систем, предназначенных для бурения скважин (погружных гидроударников) она осложняется жесткими ограничениями на их форму и размеры.

В настоящее время существует большой набор программ [1–4], позволяющих проводить имитационное моделирование подобных систем. Их использование при выборе параметров системы и расчете ее динамики возможно, но требует большой подготовительной работы по раз-

работке и составлению соответствующих гидромеханических схем. Требуется квалифицированные специалисты и значительный объем численных расчетов, что даже на современных высокопроизводительных компьютерах занимает много вычислительного времени.

Разработка специальных программных средств, автоматизирующих выбор параметров и позволяющих избежать составления и отладки математических моделей систем, расчета их рабочих циклов, представляет собой актуальную научно-техническую задачу. В [5] предложена новая программа, разработанная на языке Java, с развитым графическим интерфейсом, позволяющая не только автоматизировать процесс выбора параметров для систем двухстороннего действия, но и выполнять процедуры фильтрации полученных данных, расчет параметров бойков по заданной конфигурации и динамических характеристик рабочих циклов. В настоящей работе программа дополнена блоками для выбора параметров одностороннего прямого и обратного действия, дается ее подробное описание, а также пример выбора параметров для заданных условий.

ПРОГРАММА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ НПС

Рассматриваемые в работе гидроударные системы обратного (рис. 1а) и прямого (рис. 1б) действия автоколебательные, описание структуры их рабочих циклов можно найти в [6].

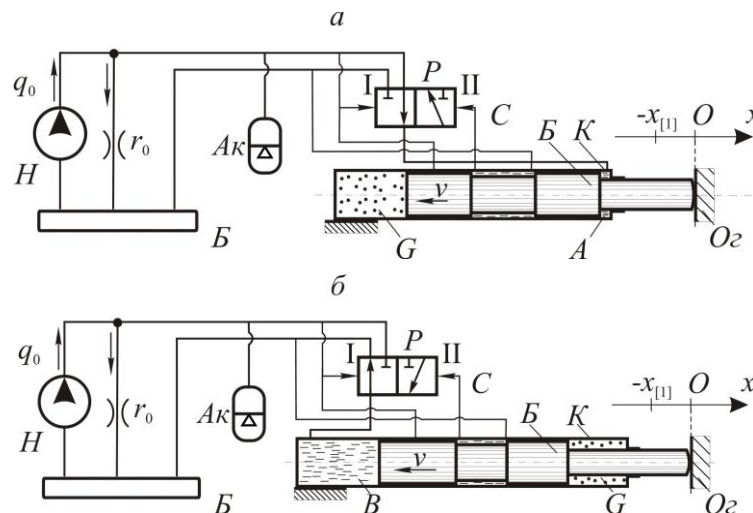


Рис. 1. Принципиальные схемы систем одностороннего обратного (а) и прямого (б) действия: H — насос; $Ак$ — аккумулятор; P — распределитель; B — боек; K — корпус ударного узла (УУ); O_2 — ограничитель; A, B — гидравлические камеры УУ, G — камера, заполненная газом (газовая пружина); C — управляющая линия распределителя P ; $r_0 = p_n / q_0(1 - \eta_0)$ — гидравлическое сопротивление, определяющее утечки в системе (q_0 и p_n — идеальный расход и номинальное давление насоса, η_0 — его КПД)

Назначение программы НПС:

- расчет наборов основных параметров гидроударных систем по заданным параметрам и ограничениям на остальные параметры и характеристики;
- расчет и корректировка с учетом конструктивных особенностей ударного узла геометрии бойка и корпуса выбранного варианта;
- расчет и вывод графиков зависимостей динамических характеристик выбранного варианта ударного устройства.

Алгоритмы программы НПС. В основе программы лежат табличные данные безразмерных характеристик гидроударных систем в пространстве основных критериев подобия. Для их получения для конкретной гидроударной системы необходимы следующие шаги:

- разработка математической модели системы, включающей лишь ее основные, характеризующие физическую сущность, атрибуты элементов;
- размерный анализ модели и выбор динамических критериев подобия;
- выбор сетки в пространстве критериев подобия и численные расчеты в ее узлах безразмерных выходных характеристик предельных циклов системы, сохранение их в таблице.

Достаточно подробно эти шаги изложены в работе [6], в которой при анализе поведения систем использовали результаты численных расчетов безразмерных характеристик их рабочих циклов в узлах сетки пространства критериев подобия.

Для выбора всех основных параметров гидроударной системы в программе реализуются следующие шаги:

- задается M исходных размерных параметров, количество которых определяется числом всех основных параметров N и количеством критериев подобия K :

$$M = N - K; \quad (1)$$

- с использованием формул критериев подобия и формул перехода от безразмерных к размерным параметрам определяют все размерные параметры и аналоги характеристик для каждой строки таблицы;

- по заданным ограничениям на полученные параметры и характеристики системы отбирают подходящие варианты (строки таблицы) ее исполнения.

Параметры и характеристики систем одностороннего действия. Число основных параметров систем одностороннего действия равно $N = 11$ (q_0, p_n, η_0 — идеальная подача, номинальное давление и КПД насоса; $m, x_{[1]}, S_A, S_B$ — масса, длина фазы обратного хода, площади со стороны камер A и B бойка (в системе обратного действия камера B (G) заполнена газом, в системы прямого действия камера A (G)); pG_0 и xG_0 — давление в газовой камере и ее длина при нахождении бойка на ограничителе (рис. 1); V_n, γ — объем газожидкостного аккумулятора и показатель политропы газа; $\gamma = 1.4$). Всего критериев подобия $K = 4$; число параметров $M = 11 - 4 = 7$ (1).

Размерные характеристики систем: предупредительная скорость бойка v_i^* , частота ударов f_c^* , максимальный размах колебаний бойка X_{\max}^* , среднее давление p_m^* , КПД η^* и мощность N^* системы.

Элементы интерфейса программы. **Главное окно программы** (рис. 2) включает строку заголовка, главное меню, панель инструментов и рабочее поле, в котором после запуска отображается принципиальная схема гидроударной системы.

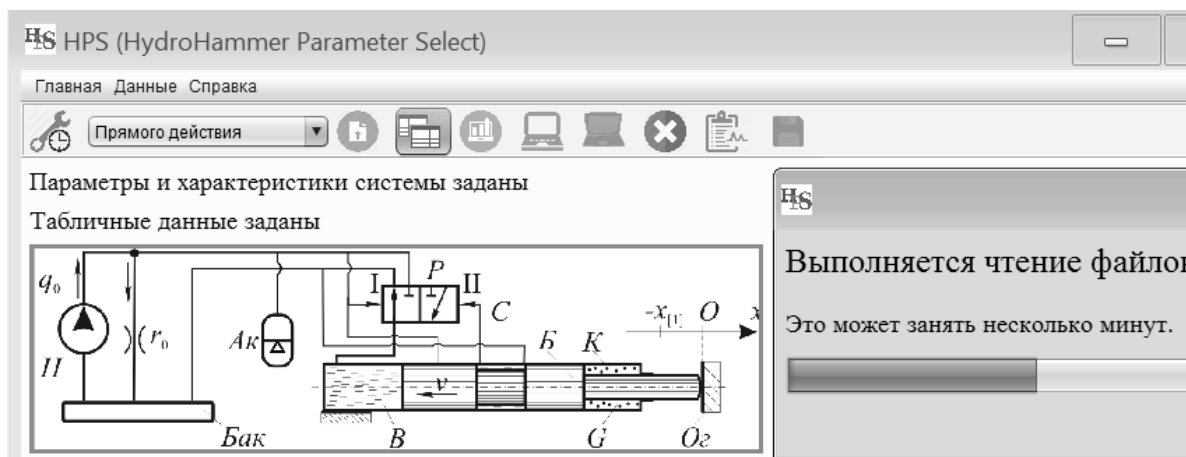





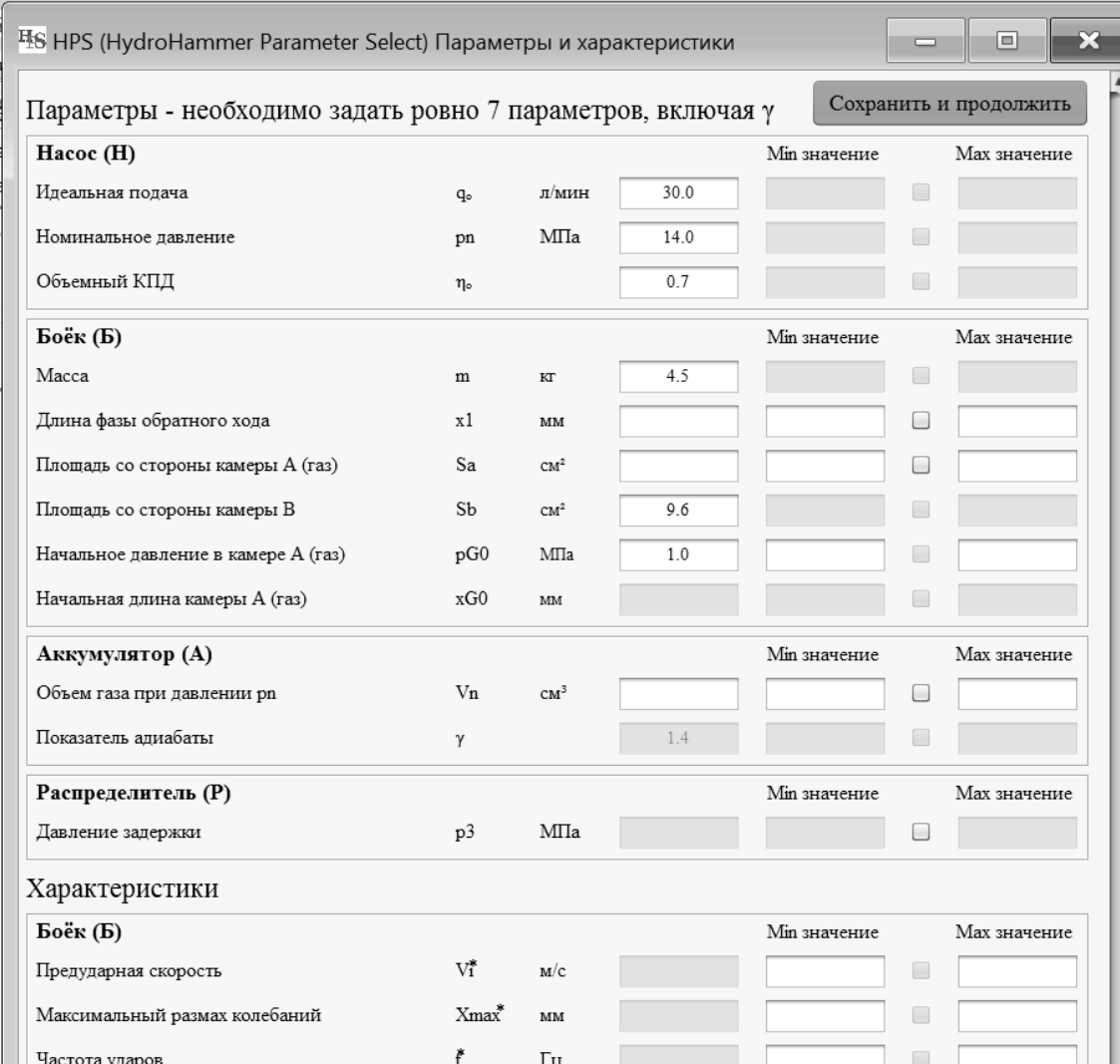
Рис. 2. Главное окно программы при выборе параметров системы прямого действия

Меню содержит три пункта: “Главная”, “Данные” и “Справка”, основная часть функций которых дублируется в кнопках Панели инструментов.

Панель инструментов содержит (слева направо) кнопку “Задать параметры”, список “Выбрать систему”, кнопки: “Загрузить параметры”, “Загрузить таблицы”, “Расчет выборки” (активна при загруженных таблицах и параметрах), “Проверочный расчет”, “Очистить расчет”, “Сохранить таблицу результатов” и “Сохранить параметры бойка”.

При выборе кнопки **“Загрузить таблицы”**  происходит обращение к папке файлов-таблиц нужной системы, можно выбрать один или все файлы и загрузить их.

Для ввода исходных параметров и ограничений используются кнопка **“Загрузить параметры”**  (загружает значения параметров последнего расчета) или кнопка **“Задать параметры”** , при выборе которой появляется диалоговое окно “Параметры и характеристики” (рис. 3). В нем следует задать M параметров, так же можно задать ограничения на остальные K параметров и на характеристики (“Min значения” и “Max значения”).



Параметры - необходимо задать ровно 7 параметров, включая γ Сохранить и продолжить

Насос (Н)			Min значение	Max значение
Идеальная подача	q_e	л/мин	30.0	<input type="checkbox"/>
Номинальное давление	p_n	МПа	14.0	<input type="checkbox"/>
Объемный КПД	η_e		0.7	<input type="checkbox"/>

Боек (Б)			Min значение	Max значение
Масса	m	кг	4.5	<input type="checkbox"/>
Длина фазы обратного хода	x_1	мм		<input type="checkbox"/>
Площадь со стороны камеры А (газ)	S_a	см ²		<input type="checkbox"/>
Площадь со стороны камеры В	S_b	см ²	9.6	<input type="checkbox"/>
Начальное давление в камере А (газ)	p_{G0}	МПа	1.0	<input type="checkbox"/>
Начальная длина камеры А (газ)	x_{G0}	мм		<input type="checkbox"/>


Аккумулятор (А)			Min значение	Max значение
Объем газа при давлении p_n	V_n	см ³		<input type="checkbox"/>
Показатель адиабаты	γ		1.4	<input type="checkbox"/>

Распределитель (Р)			Min значение	Max значение
Давление задержки	p_3	МПа		<input type="checkbox"/>


Характеристики


Боек (Б)			Min значение	Max значение
Предударная скорость	V_I^*	м/с		<input type="checkbox"/>
Максимальный размах колебаний	X_{max}^*	мм		<input type="checkbox"/>
Частота ударов	f^*	Гц		<input type="checkbox"/>

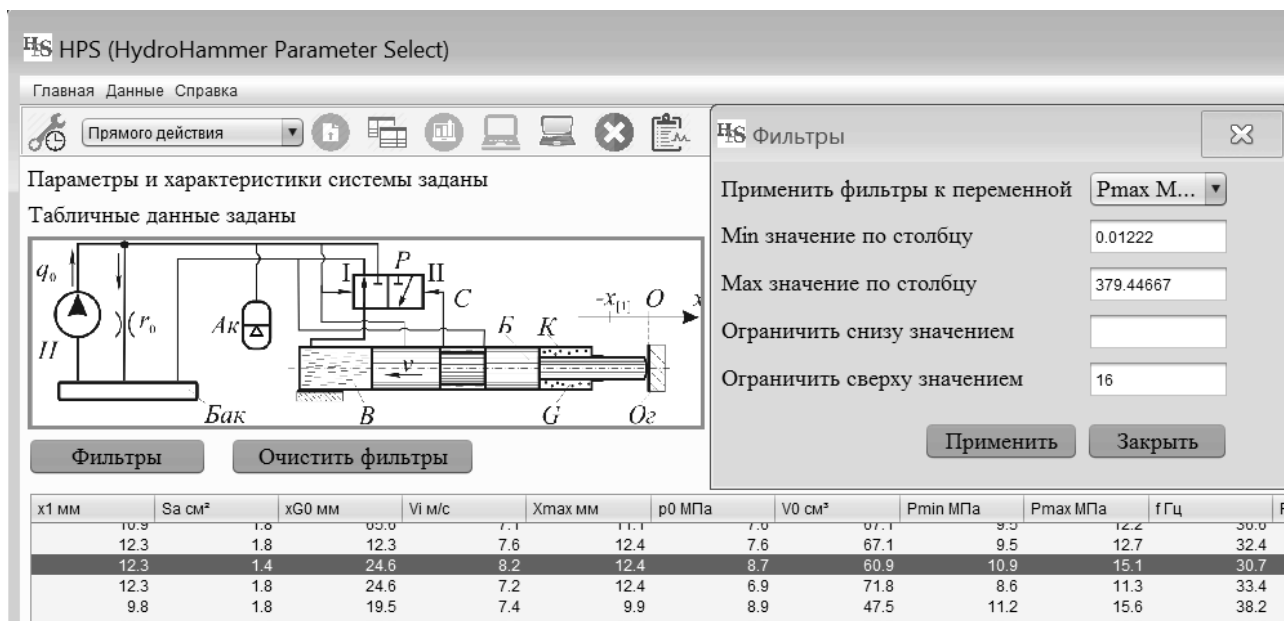
Рис. 3. Окно ввода исходных параметров и ограничений для системы прямого действия

Далее возможно проведение расчета (кнопка **“Расчет выборки”** ) , в результате которого в главном окне будет показана таблица отобранных параметров и характеристик системы (рис. 4). С помощью кнопки **“Фильтры”** в одноименном диалоговом окне можно выбрать лю-

бой рассчитанный параметр или характеристику, при этом в верхних окнах появляются их минимальное и максимальное значения, в нижних можно задать ограничения на них. Это сокращает количество строк таблицы и позволяет ускорить выбор подходящего варианта.

В программе предусмотрен расчет динамических характеристик системы для выбранного набора (строки) параметров. Результаты выводятся в виде таблицы значений характеристик и графиков — теоретических осциллограмм зависимостей координаты и скорости бойка, давления в аккумуляторе в течение предельного цикла от времени. При щелчке по **кнопке “Проверочный расчет”**  Панели инструментов на монитор будут выведены графики зависимостей координат, скорости бойка и давления в аккумуляторе от времени, а также значения параметров и интегральных характеристик.

Выбрав в таблице подходящий результат (строку), можно перейти к расчету размеров бойка. Для этого следует выделить строку с результатом и щелкнуть по **кнопке “Расчет размеров бойка”**  (рис. 4). Появится окно, в котором будет отображена расчетная схема бойка, его эскиз, заданные и рассчитанные параметры и поправочные коэффициенты, определяющие длины втулок и отдельных участков. Коэффициенты можно изменить в соответствии с конкретными требованиями к конструкции устройства. После нажатия на кнопку “Пересчитать параметры бойка” будет заполнена таблица размеров бойка и выведен его эскиз.



Панель инструментов: Главная, Данные, Справка, Прямого действия

Параметры и характеристики системы заданы
Табличные данные заданы

Фильтры: Применить фильтры к переменной (Pmax М...), Min значение по столбцу (0.01222), Max значение по столбцу (379.44667), Ограничить снизу значением, Ограничить сверху значением (16). Кнопки: Применить, Закрыть.

x1 мм	Sa см²	xG0 мм	Vl м/с	Xmax мм	p0 МПа	V0 см³	Pmin МПа	Pmax МПа	f Гц	F
10.9	1.8	93.0	7.1	11.1	7.0	97.1	9.0	12.2	30.0	
12.3	1.8	12.3	7.6	12.4	7.6	67.1	9.5	12.7	32.4	
12.3	1.4	24.6	8.2	12.4	8.7	60.9	10.9	15.1	30.7	
12.3	1.8	24.6	7.2	12.4	6.9	71.8	8.6	11.3	33.4	
9.8	1.8	19.5	7.4	9.9	8.9	47.5	11.2	15.6	38.2	

Рис. 4. Главное окно с таблицей выбранных параметров и характеристик и окно установки фильтров по столбцам

ПРИМЕР ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ОДНОСТОРОННИХ СИСТЕМ

В качестве примера зададим следующие входные параметры и условия: подача, номинальное давление и объемный КПД насоса соответственно, $q_0 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $p_n = 10 \text{ МПа}$, $\eta_0 = 0.8$; масса бойка $m = 4.5 \text{ кг}$, объем аккумулятора $V_n < 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, максимальный размах колебаний бойка $x_{\text{max}} < 0.08 \text{ м}$; максимальные и минимальные значения давления в системе в течение предельного цикла $p_{\text{max}} < 1.3p_n$ и $p_{\text{min}} < 0.25p_n$, предупредительная скорость бойка $7 \text{ м/с} < v_l < 9 \text{ м/с}$.

В таблице представлено по одному отобранному варианту параметров для систем обратного (а) и прямого (б) действия, а также форма и размеры бойков, конфигурации которых соответствуют схемам рис. 1.

Расчетные характеристики гидроударных системы

	$x_{[1]}, \text{ м}$	$S_A, \text{ см}^2$	$S_B, \text{ см}^2$	$V_n, \text{ см}^3$	$p_{G0}, \text{ МПа}$	$v_l^*, \text{ м/с}$	$T_C^*, \text{ с}$	$X_{\max}^*, \text{ м}$	$p_m^*, \text{ МПа}$	$N^*, \text{ кВт}$
а	0.056	2.58	14.5	49	0.4	8.5	0.04	0.098	11.2	3.1
б	0.014	1.42	9.62	43	1	8.09	0.035	0.014	11.3	4.2

ВЫВОДЫ

Разработаны модули программы HPS, с помощью которых по небольшому набору параметров и ограничениям на остальные параметры и характеристики можно определять все основные, необходимые для начального (эскизного) этапа проектирования параметры гидроударных систем одностороннего действия. Существующая структура объектно-ориентированной программы дает возможность добавлять в нее новые модули, реализующие процедуры выбора параметров для других перспективных типов систем. Дальнейшее развитие программы предполагает добавление структур, позволяющих после предварительного выбора основных параметров гидроударной системы и детальной проработки конструкции, строить ее имитационную модель, проводить моделирование режимов работы и оптимизацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Automation Studio**. URL: <http://www.automationstudio.com/> (last visited: 21.05.2019) [Electronic resource].
2. **Multi-domain system simulation and modeling**. URL: <http://www.itsim.com/simulationx/system-simulation> (last visited 30.08.2017) [Electronic resource].
3. **Teryokhin V. V.** Basics of modeling in MATLAB. Part 2. Simulink: Study Guide, Novokuznetsk, RIO NFI KemGU, 2004. 304 pp. (in Russian) [Терёхин В. В. Основы моделирования в MATLAB. Ч. 2. Simulink: учебное пособие. — Новокузнецк: РИО НФИ КемГУ. — 304 с.]
4. **Introduction to COMSOL Multiphysics**. URL: <https://docplayer.ru/25872867-Vvedenie-v-comsol-multiphysics.html> (last visited: 21.05.2019) [Electronic resource].
5. **Gorodilov L. V., Vagin D. V., and Rasputina T. B.** Development of the Procedure, Algorithm and Program to Select Basic Parameters of Hydraulic Percussion Systems, Journal of Mining Science, 2017, vol. 53, no. 5, pp. 855–860 [Городилов Л. В., Вагин Д. В., Распутина Т. Б. Методика, алгоритм и программа выбора параметров гидроударных систем // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 64–70.]
6. **Gorodilov L. V.** Analysis of Dynamics and Characteristics of Main Classes of Self-Oscillating Volume-Type Hydraulic Impact Systems, Journal Machinery Manufacture Reliability, 2018, vol. 47, no. 1. pp 19–27 [Городилов Л. В. Анализ динамики и характеристик основных классов автоколебательных гидроударных систем объемного типа // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2018. — № 1. — С. 22–30.]