

*Л. В. Городилов, А. Н. Коровин*

## **Выбор конструкции и разработка имитационной модели ударного устройства для ковша активного действия гидравлического экскаватора**

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\*e-mail: alexh523vt@mail.ru

**Аннотация.** Выбрана конфигурация размещения гидроударного оборудования в ковше активного действия гидравлического экскаватора. Разработана и создана физическая модель гидроударного устройства для использования в ковше, проведены ее испытания и доводка. Разработана имитационная модель ударного устройства и на основе полученных экспериментальных данных проведена ее верификация. Проведены расчеты выходных характеристик, приводятся их зависимости от расхода подаваемой к устройству жидкости, которые на начальном участке хорошо коррелируют с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** активный исполнительный орган, гидроударное устройство, рабочий цикл, ударная мощность, осциллограммы, частота, предупредительная скорость

*L. V. Gorodilov, A. N. Korovin*

## **Selection of the design and development of the simulation model of the impact device for the action bucket of the hydraulic excavator**

Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation  
\*e-mail: alexh523vt@mail.ru

**Abstract:** The configuration of placement of hydraulic percussion equipment in the active action bucket of a hydraulic excavator is chosen. A physical model of a hydraulic percussion device for use in a ladle has been developed and created, its testing and refinement have been carried out. A simulation model of the percussion device has been developed and its verification has been carried out on the basis of the obtained experimental data. Calculations of the output characteristics are carried out, their dependences on the flow rate of the liquid supplied to the device are given, which in the initial section correlate well with the experimental data.

**Keywords:** active executive body, hydraulic shock device, duty cycle, shock power, waveforms, frequency, pre-impact speed

### ***Введение***

Идеи объединения процессов отбойки и погрузки горных пород и других твердых материалов предложена в СССР в 1938 г. [1]. В настоящее время зарегистрированы десятки возможных конструкций активных исполнительных органов горных машин, отличающихся характером приложения виброударной нагрузки и видом, геометрией и расположением ударных устройств [2 – 7]. На современном этапе развития машиноведения, в частности теории и практики ударных машин, возможно создание выемочно-погрузочных машин с актив-

ными исполнительными органами, которые могут занять определенную нишу при разработке горных пород и других твердых материалов в горной промышленности, строительстве и в городском хозяйстве. В связи с этим возникают вопросы выбора конструкции активного исполнительного органа, типа энергоносителя ударного устройства, определения его конструктивных параметров и режимов работы для обеспечения необходимой производительности. Это требует конструктивной проработки ковша и ударных устройств, схемы управления последними для получения необходимых выходных характеристик. Требуется разработка и верификация имитационной модели, что также связано с созданием и испытаниями физической модели ударного устройства, определением его возможных режимов работы

### ***Обоснование конструктивных схем исполнительного органа и ударных устройств***

Анализ конструкций ковшей активного действия показал, что наиболее удачное их исполнение — это ковш со встроенными в переднюю стенку ударными устройствами с пневматическим или гидравлическим приводом. Очевидно, что корпус ударных устройств также должен иметь цилиндрическую форму. Предпочтительное конструктивное исполнение ударного устройства — вариант с соосно расположенными ударным узлом, распределителем и аккумулятором, что подтверждается анализом известных активных исполнительных органов. Возможно применение различных конструктивных схем и схем управления ударным устройством, однако предъявляемые к ним требования едины: это высокие КПД и ударная мощность, компактные диаметр и длина.

В случае горных и строительных машин с гидравлическим приводом рабочих органов естественным выбором представляется использование гидроударных устройств. Как показывают расчеты, маслостанции гидравлических экскаваторов позволяют получить требуемую ударную мощность системы ударных устройств в значимом для таких работ диапазоне прочностей разрабатываемых материалов (с пределом прочности 60 – 80 МПа) [8].

### ***Стенд для исследования и физическая модель гидроударного устройства***

Для тестирования изготовлена, испытана и доведена до рабочего состояния физическая модель гидроударного устройства двухстороннего действия с управляемой камерой прямого хода и золотниковым распределителем. Фотография стенда с устройством представлена на рис. 1.

Стенд состоит из массивного основания 5 с демпфирующим устройством 4, стоек 6 с прижимным устройством 8 и верхней траверсы 7, объединяющей стойки. Демпфирующее устройство 4 имеет наковальню и обоймы с деревянной кольцевой вставкой между ними, гасящей энергию удара. С помощью прижимного устройства 8, снабженного пружинами, ударное устройство удерживается в заданном направлении и прижимается к демпфирующему устройству. Пружины позволяют регулировать натяг и усилие поджатия ударного устройства.

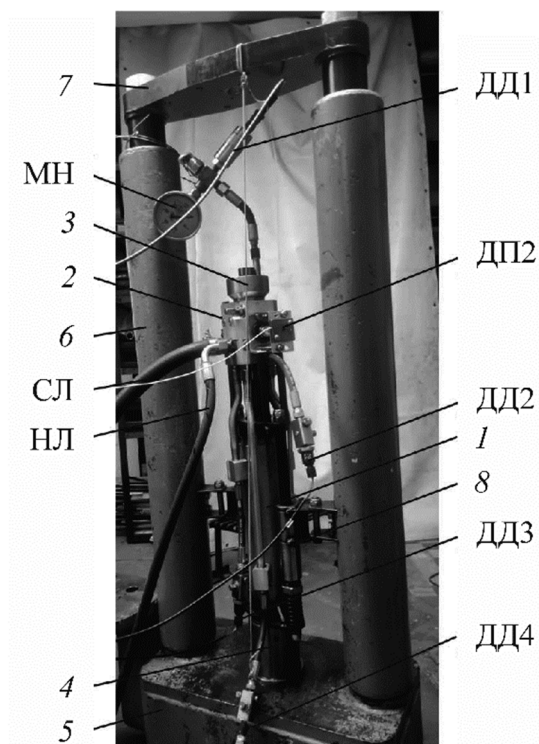


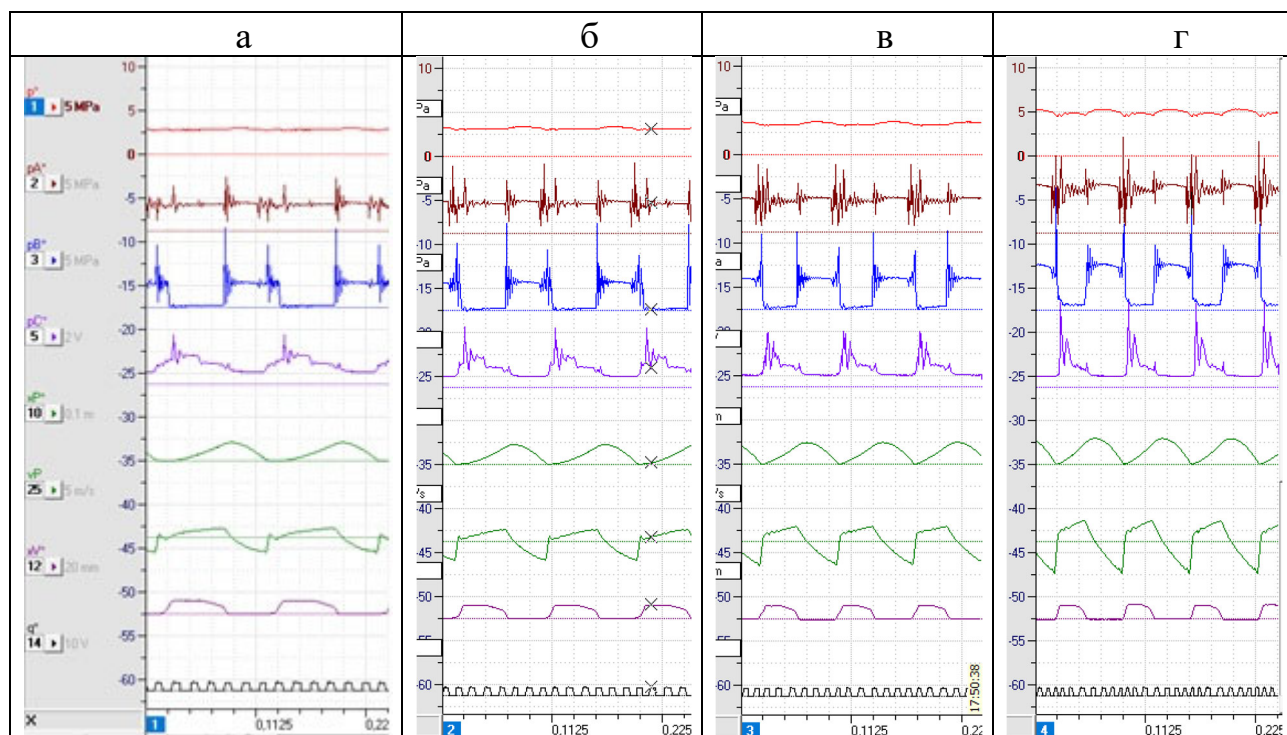
Рис. 1. Стенд с гидроударным устройством: 1 — ударный узел (УУ); 2 — распределитель; 3 — аккумулятор; 4 — демпфирующее устройство; 5, 6, 7 — соответственно основание, стойки и траверса стенда; 8 — прижимное устройство; НЛ, СЛ — напорная и сливная линии; ДД1 – ДД4 — датчики давления; ДП2 — датчик перемещения золотника; МН — манометр

Гидроударное устройство двухстороннего действия с управляемой камерой прямого хода состоит из ударного узла 1, включающего корпус и боек, распределителя 2, также состоящего из составного корпуса и золотника, напорного аккумулятора 3, штуцеров для подсоединения к напорной и сливной линиям, штуцеров в корпусах распределителя и ударного узла для соединения их между собой внешними трубками. Ударный узел и распределитель изготовлены из дюралюминия Д16Т со вставными стальными гильзами соответственно для бойка и золотника.

Распределитель 2 золотниковый одностороннего действия двухпозиционный, в исходном состоянии (первой позиции) золотник удерживается силой со стороны пружины, его переключение и удержание во второй позиции производится давлением жидкости, подаваемой в камеру управления по каналу управления от ударного узла. Начало смещения золотника из исходной позиции и начало рабочего цикла ударного устройства регулируются дроссельным устройством и предварительным натягом пружины золотника, таким образом осуществляется управление давлением в системе и изменение энергии удара при постоянной подаче насоса. Дроссельное устройство состоит из двух регулируемых дросселей, соединяющих гидравлическую камеру золотника (камеру управления) соответственно с каналом управления и со сливом.

При испытаниях были выявлены недостатки в техническом исполнении ударного устройства, после устранения которых (повышения точности обработки внутренних поверхностей цилиндрических поверхностей и новой конструкции уплотнительных втулок) оно показало устойчивую работу во всех запланированных режимах.

Изменение величины расхода жидкости производили при помощи регулятора МПГ55-12. На рисунках 2а-г представлены осциллограммы (скриншоты окон программы PowerGraph 3.3) динамических характеристик гидроударной системы: давлений в аккумуляторе, камерах обратного и прямого хода, камере управления золотника, перемещений и скоростей бойка, перемещений золотника, полученные при величинах расхода  $q_0 = 10.2, 12.8, 14.8$  и  $18.5$  л/мин.



а – подача насоса 10.2 л/мин, б – 12.8 л/мин, в – 14.8 л/мин, г – 18.5 л/мин

Рисунок 2 – Осциллограммы (сверху вниз) давлений в аккумуляторе  $p$  ( $p^*$ ), камерах обратного  $p_A$  ( $pA^*$ ) и прямого  $p_B$  ( $pB^*$ ) хода, камере управления золотника  $p_C$  ( $pCU^*$ ), перемещения  $x_P$  ( $xP^*$ ) и скорости  $v_P$  ( $vP^*$ ) бойка, перемещения золотника  $x_V$  ( $xV^*$ ): а – подача насоса 10.2 л/мин, б – 12.8 л/мин, в – 14.8 л/мин, г – 18.5 л/мин

Анализ приведенных экспериментальных данных показал, что увеличение подаваемого к устройству расхода  $q_0$  приводит к повышению давления в системе  $p$  ( $p^*$ ),  $p_A$  ( $pA^*$ ),  $p_B$  ( $pB^*$ ) в 2-3 раза, увеличению более чем в 2 раза предударной скорости  $v_I$  и в  $\sim 1.6$  раз частоты ударов  $f$ . Растут энергии удара  $E_{уд}$ , ударная мощность и КПД. В общем динамика системы достаточно типична для данного типа устройств.

### *Имитационная модель гидроударного устройства, ее верификация*

Распространение полученных результатов на ГУ с другими параметрами возможно при наличии имитационной модели, схема которой приведена на рис. 4. На схеме элементы разделены на отмеченные прямоугольниками группы, представляющие собой отдельные устройства: 1 — ударный узел; 2 — распределитель; 3 — маслостанция с напорным и сливным рукавами; 4 — газожидкостный аккумулятор; 5 — дроссельное регулировочное устройство. Они соединены между собой каналами в распределителе с присоединенным к нему аккумулятором, трубками между распределителем и ударным узлом, а также рукавами высокого давления, соединяющими маслостанцию с распределителем.

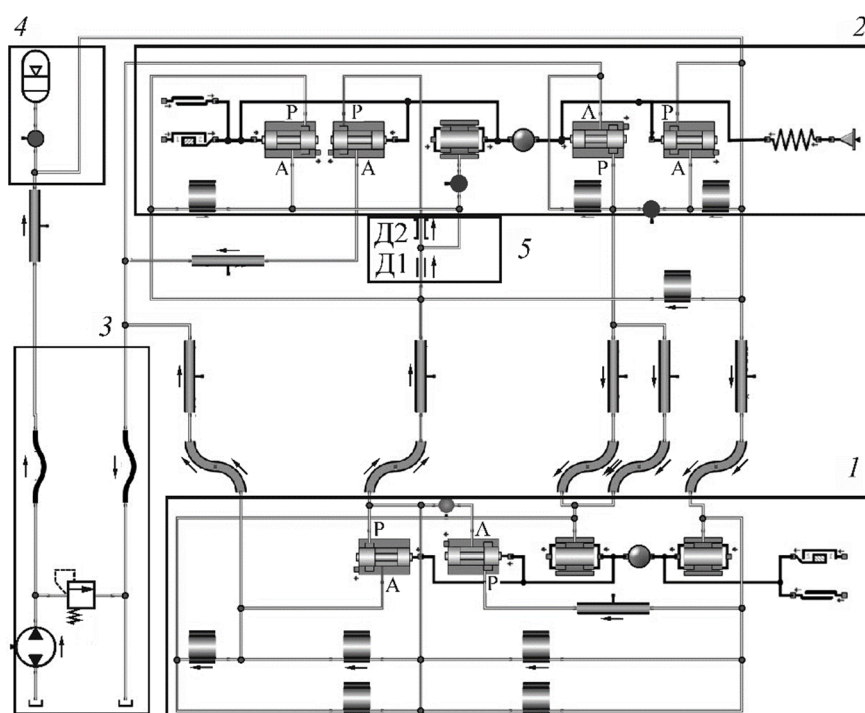


Рис. 3. Имитационная модель гидроударного устройства с регулируемой энергией удара: 1 — ударный узел; 2 — распределитель; 3 — маслостанция; 4 — аккумулятор; 5 — регулировочное дроссельное устройство

Для верификации модели проведены тестовые расчеты ее рабочих циклов при параметрах, повторяющих параметры в экспериментах. На рис. 4 представлены экспериментальные и теоретические осциллограммы перемещения и скорости бойка  $x_p$  и  $v_p$ , давления в аккумуляторе  $p$  и в камере прямого  $p_B$  хода, перемещения золотника  $x_v$  при расходе поступающей к устройству жидкости 15,2 л/мин.

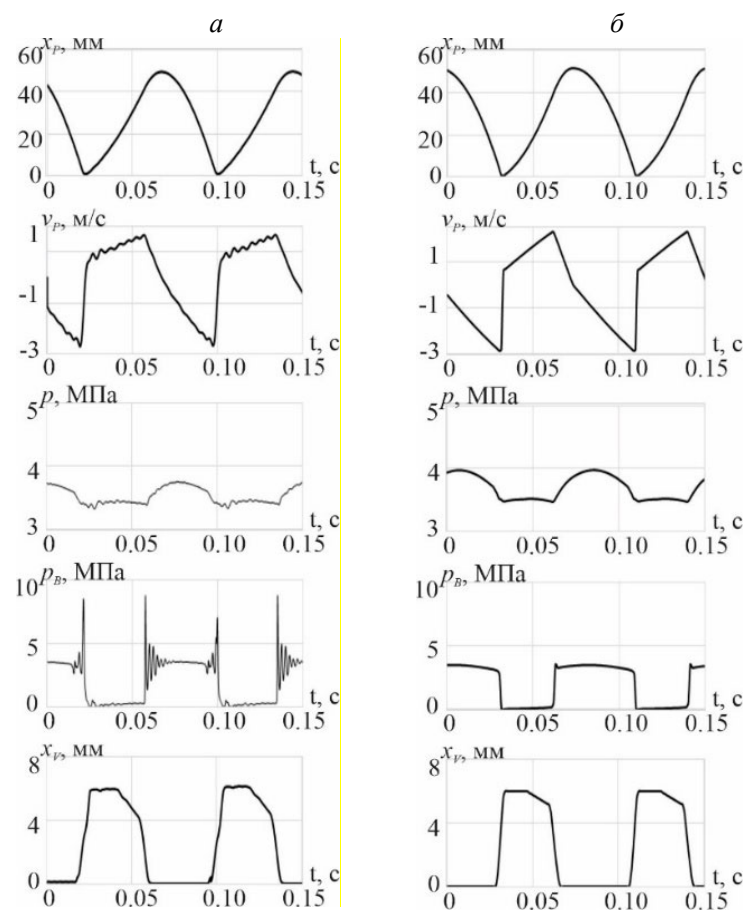


Рис. 4. Экспериментальные (а) и расчетные (б) осциллограммы рабочих циклов гидроударного устройства при расходе  $q_0 = 15.2$  л/мин: (сверху вниз) перемещения и скорости бойка  $x_p$  и  $v_p$ , давления в аккумуляторе  $p$  и камере прямого  $p_B$  хода, перемещения золотника  $x_v$

При сравнении экспериментальных и полученных на имитационной модели результатов найдено, что расхождение динамических и интегральных выходных характеристик не превышает 10 %.

#### ***Зависимости выходных характеристик гидроударного устройства от подаваемого расхода***

На рис. 5 представлены зависимости расчетных выходных характеристик ударного устройства от подаваемого к нему расхода (кружки без заливки). В диапазоне расходов до 20 л/мин нанесены экспериментальные точки (кружки с заливкой). Отмечен рост всех характеристик при увеличении подачи жидкости к устройству. Особенно показательно повышение ударной мощности, которая увеличивается более чем на порядок при сравнительно небольшом повышении расхода. С учетом того, что этот показатель играет определяющую роль в процессе отбойки горной породы, можно говорить о возможности глубокой регулировки устройства лишь изменением подачи и, следовательно, высоких возможностях управления процессом разрушения пород.

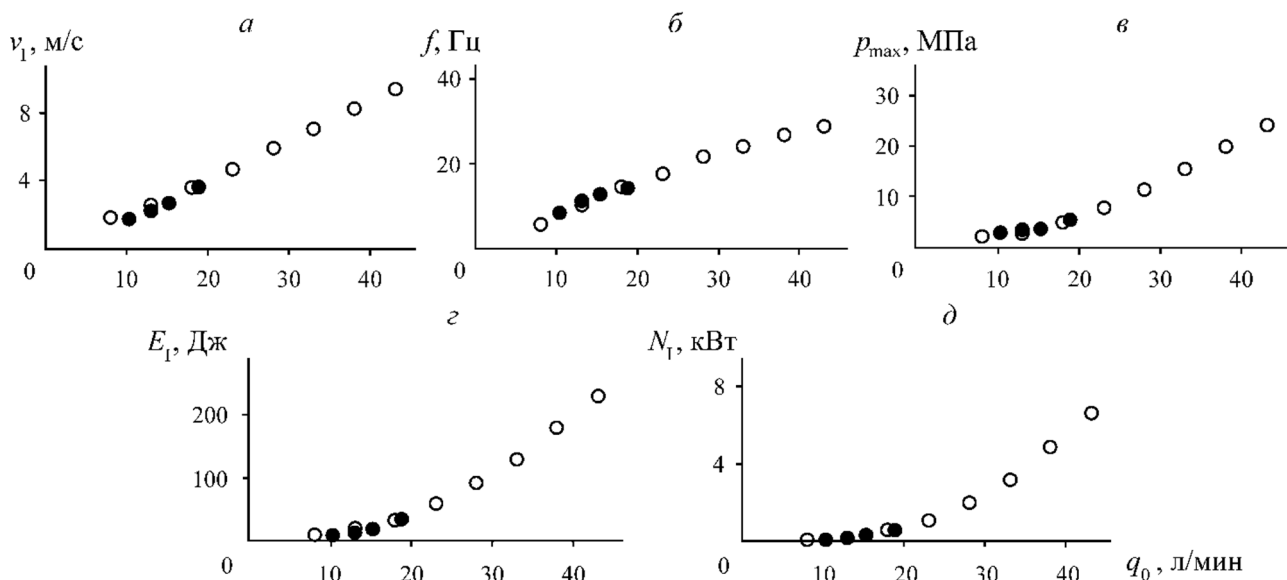


Рис. 5. Зависимости расчетных и экспериментальных интегральных выходных характеристик устройства (предударной скорости  $v_1$  (а), частоты  $f$  (б), максимального давления  $p_{max}$  в аккумуляторе (в), энергии удара  $E_1$  (г), ударной мощности  $N_1$  (д)) от поступающего к нему расхода жидкости  $q_0$

Из анализа данных следует, что ударное устройство при таком режиме работы выходит на высокие энергетические показатели при расходе 30 л/мин и более, так предударная скорость 8 м/с достигается при расходе 35 л/мин. При планируемой установке устройств, например, на экскаваторе второй размерной группы в количестве трех штук, суммарный расход при их непрерывной работе превысит 100 л/мин, что много для такого экскаватора. В данном случае необходимо рассмотреть элементы управления рабочим циклом ударного устройства, которые позволят существенно повысить предударную скорость и мощность ударного устройства при более низких расходах за счет повышения давления в системе.

### Заключение

Разработан и создан прототип гидроударного устройства, конструктивно пригодного для использования в ковше активного действия, проведены его испытания и доводка. Экспериментально определена для ограниченного диапазона расходов поступающей к гидроударному устройству жидкости динамика его рабочих циклов и выходные характеристики. В программе имитационного моделирования построена расчетная модель гидроударного устройства, проведена ее верификация, получено удовлетворительное соответствие экспериментальных и расчетных точек. Результаты численных расчетов показали возможность ее глубокого регулирования, даже небольшой рост подаваемого к устройству расхода жидкости позволяет более чем на порядок увеличить его ударную мощность. Необходимо разработать систему управления, позволяющую повысить энергетические характеристики ударного устройства при неизменном расходе подаваемой к нему жидкости.

*Работа выполнена в рамках проекта НИР (№ гос. регистрации 121052600390-5).*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 99240 СССР. Ковш экскаватора / Ю. С. Верниковский // Оpubл. в БИ. — 1954. — № 11. — С. 4.
2. Экскаваторы с ковшом активного действия: опыт создания, перспективы применения / А. Р. Маттис, В. И. Кузнецов, Е. И. Васильев и др. — Новосибирск: Наука, 1996. — 174 с.
3. Ветров Ю. А., Баландинский В. Л., Баранников В. Ф. Разрушение прочных грунтов. — Киев: Будивельник, 1973. — 352 с.
4. Шкуренко Н. С., Рахлин А. Б., Спектор М. Д. Виброметод разработки мерзлых грунтов. — М.: Стройиздат, 1965. — 185 с.
5. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. — М.: Машиностроение, 1968. — 376 с.
6. Городилов Л.В., Коровин А.Н. Анализ конструкций ковшей активного действия карьерных и строительных экскаваторов. - Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 2. № 3. С. 171-179.
7. Галдин Н. С., Бедрина Е. А. Ковши активного действия для экскаваторов. — Омск: СибАДИ, 2003. — 53 с.
8. Маттис А. Р., Лабутин В. Н. К созданию ковшей активного действия гидравлических строительных экскаваторов // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. — 2010. — Т. 3. — С. 152 – 159.

© Л. В. Городилов, А. Н. Коровин, 2023