

3. Soloviev, V. I. Design of information systems: the Foundation course / I. V. Solovyev, A. A. Mayorov. - M.: Academic project, 2009. – 398c.

4. Recommendations in standardization of the Bank of Russia RS BR IBBS-2.1–2007 "information security of organizations of Bank system of the Russian Federation" – the Guide to self-assessment of conformity of information security of organizations of Bank system of the Russian Federation with the requirements of STO BR IBBS-1.0.

5. Structure Guid. [Electronic resource]. - Access mode: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/system.guid\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/system.guid(v=vs.110).aspx)

Данилова Ольга Тимофеевна (Омск, Россия) – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры Комплексная защита информации ФГБОУ ВО Омский государственный технический университет (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: olga.danlot@yandex.ru).

Семенова Зинаида Васильевна (Омск, Россия) – д-р пед. наук, профессор, заведующая кафедрой Информационная безопасность ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: semenova.z.v@gmail.com).

Сафиулин Игорь Рашидович – аспирант кафедры «Комплексная защита информации» ФГБОУ ВО Омский государственный технический университет (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: igorsafailin@Gmail.com).

Любич Станислав Александрович (Омск, Россия) – старший преподаватель кафедры Информационная безопасность ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: ljubich.s.a@mail.ru).

УДК 621.879

### РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА ЧЕРЕЗ ИНТЕГРАЦИЮ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В.В. Савинкин<sup>1</sup>, В.Н. Кузнецова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Казахстан, г. Петропавловск

<sup>2</sup>Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Россия, г. Омск

**Аннотация.** Современный этап развития систем моделирования технологических процессов характеризуется повышением их функциональной насыщенности. Моделирование процессов работы гидропривода экскаватора является сложной иерархической задачей, так как при выполнении технологических операций экскаватора необходимо регистрировать и анализировать большое количество факторов и показателей, динамично изменяющихся во времени. В статье отражено описание разработанной комплексной системы реализации экспериментальных исследований энергоэффективности одноковшового экскаватора через интеграцию вспомогательных виртуальных комплексов, имеющей широкий спектр функциональных возможностей и позволяющей снизить трудоемкость проведения экспериментальных изысканий.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, следящая система, алгоритм, силы сопротивления, кинематическая пара.

#### Введение

Проблемы исследования энергоэффективности экскаватора с применением современного программного обеспечения, математического моделирования и автоматизированного проектирования рассмотрены в работах В.Г. Ананина, Н.С. Галдина, А.Г. Григорьева, Н.Н. Живейнова, Л.Б. Зарецкого, В. Г. Зедгенизова, Г.Н. Карасева, В.Я. Крикуна, Е.Ю. Малиновского, В.А. Мещерякова, В.В. Москвичева, В. П. Павлова, В.С. Щербакова [1].

Предшествующими исследователями установлено, что при моделировании виртуальных комплексов необходимо сформировать

как можно больше значимых свойств для более полного приближения к реальной модели, а значит, и большими возможностями будет обладать система, использующая данную модель [2 - 4].

#### Результаты теоретических и практических исследований

В данном случае этапы виртуального моделирования включали: 1. разработку концептуальной модели, выявление основных элементов системы и элементарных связей взаимодействия; 2. выбор среди программного продукта и информационной площадки для реализации моделируемого эксперимента; 3. разработку математической модели; 4. соз-

дание алгоритма и программы; 5. планирование и проведение компьютерного эксперимента; 6. анализ и интерпретация результатов, при необходимости, последующее уточнение модели.

Принцип реализации первого этапа изложен в ранее опубликованных трудах авторов [5, 6]. Для реализации второго этапа моделирования учтены возможности программного обеспечения (ПО). Состоительность программы определяется возможностью эффективного поиска оптимальных условий, при которых должен проходить технологический процесс, для обеспечения наименьшего расхода энергии, достижения наибольшего КПД системы и т. д. Разработанная программа не только моделирует процессы, но и взаимодействует с внешними элементами сбора информации (датчиками), установленных на реальных объектах (элементах гидропривода, двигателя). В системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами применяется микропроцессорная система,

способная взаимодействовать с персональным компьютером, - LabVIEW.

Основные выкладки математических моделей стали основой алгоритма методики исследования энергоэффективности одноковшового экскаватора, реализованной в виде виртуального стенда «GIDRO-Lab», созданного в среде LabVIEW [1]. Элементы методики создания и работы стенда «GIDRO-Lab» разработаны исходя из следующих требований: системность, максимальная общность, информативность, простота, проверяемость и предсказательная сила.

«GIDRO-Lab» состоит из двух основных частей: лицевой панели (Front Panel) и блок-диаграммы (Block Diagram). Интерфейс пользователя содержит: элементы управления программой; блок исходных данных; таблицы расчетов отдельно по каждому элементу и гидролиниям; сводные данные расчетов по гидролиниям с изменением характеристик; панель данных измерительных приборов (рис. 1).

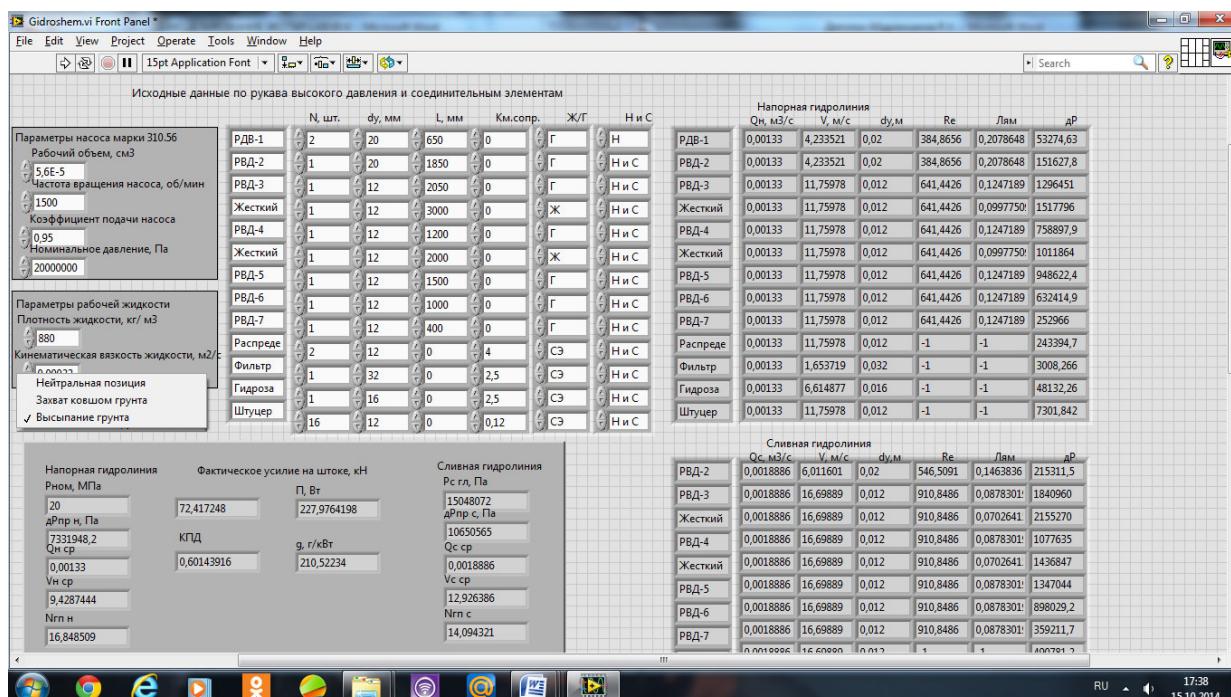


Рис. 1. Интерактивный интерфейс пользователя с базовыми и переменными данными о гидроприводе одноковшового экскаватора

В разработанном интерфейсе в левом верхнем углу предусмотрено поле для заполнения технических характеристик каждого гидроэлемента ( $n$ ,  $P_h$ ,  $Q_h$ ). В интерфейсе учтен ввод данных о характеристиках рабочей жидкости ( $\rho$ ,  $v$ ), применяемой при проведении эксперимента.

В гидроприводе передача энергии потока рабочей жидкости происходит по гидролиниям высокого и низкого давления различного

диаметрального сечения  $d$ , длины  $L$  и разным коэффициентом местного сопротивления. Перечисленные показатели также учтены в диалоговом окне интерфейса.

В правой части интерфейса расположена информация о сливной и напорной гидролиниях. Данные таблицы содержат значения входных параметров относительно  $i$ -го гидроэлемента, такие как расход жидкости  $Q$ , ско-

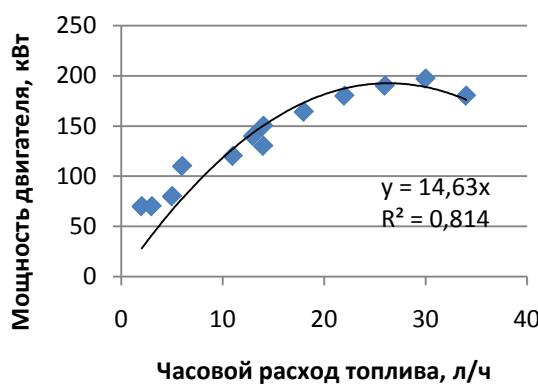
рость истечения  $V$ , число Рейнольдса  $R_e$ , коэффициент сопротивления жидкости  $\lambda$ , перепад давления  $\Delta P$  и т. д.

При исследовании рабочих режимов по линиям связи через разработанный алгоритм, содержащий математические модели, значения изменяются и характеризуют реальное состояние гидроэлементов и всей системы гидропривода через показатели эффективности, размещенные ниже (рис. 1). На данной стадии эффективность работы оценивается минимальными потерями давления в гидроприводе  $\Delta P$ , мощностью гидропривода  $N_{\text{гп}}$  на разных режимах эксплуатации, фактической силой на штоке гидроцилиндра  $R_{\text{ц}}$  и КПД гидропривода  $\eta_{\text{гп}}$ .

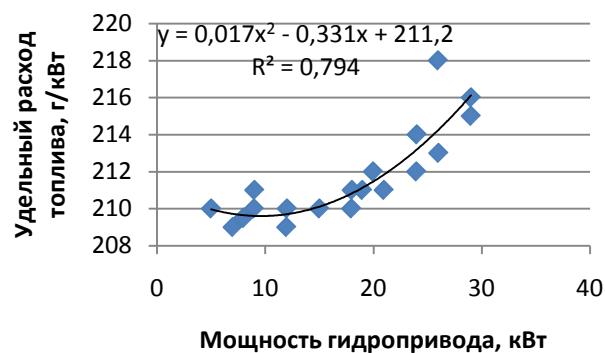
Достоинством данной модели является возможность оценить параметры эффективности, предусмотренные ГОСТ 17752-81 «Гидро-

привод объемный и пневмопривод. Термины и определения» в соответствии с зависимостями технических характеристик силовой установки экскаватора, например, мощности двигателя  $N_e$  и удельного расхода топлива  $g_e$ .

Полученные при помощи «GIDRO-Lab» зависимости (рис. 2) характеризуют влияние технологических параметров работы одноковшового экскаватора на расход топлива. С целью визуализации процесса и подробного анализа полученных данных разработана лицевая панель прибора «GIDRO-Lab». На рис. 3 продемонстрирована панель «GIDRO-Lab», на которой в виде графика и значений измеряемых показателей в режиме реального времени отображаются результаты проведения эксперимента.



а) двигатель



б) гидропривод

Рис. 2. Зависимость расхода топлива от мощности

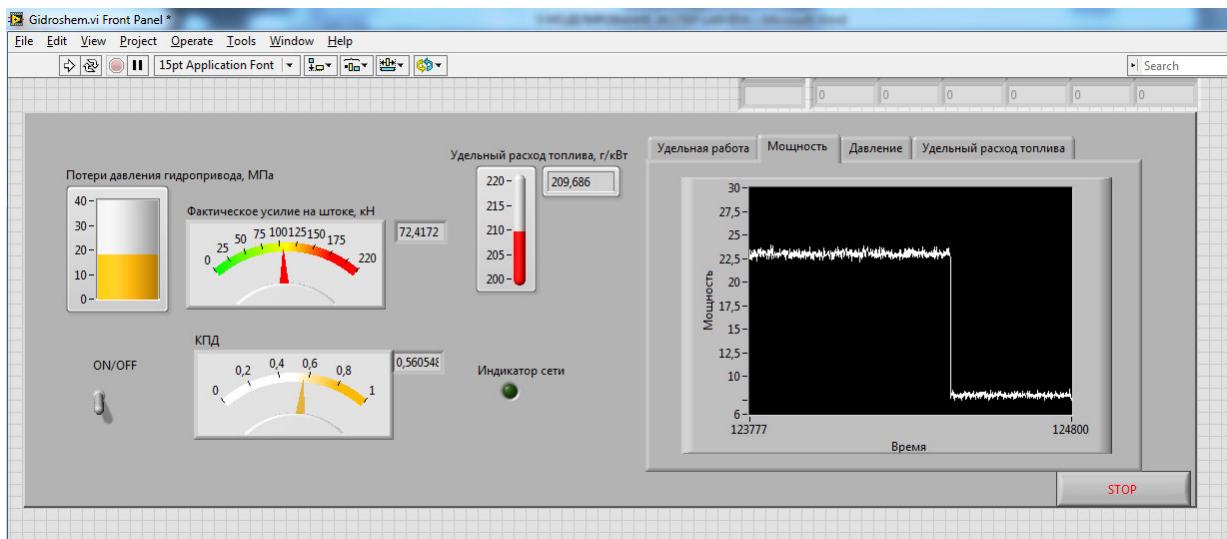


Рис. 3. Лицевая панель прибора «GIDRO-Lab»

Предложенная модель панели позволяет производить внедрение объектов ActiveX (Excel, Word и др.) и т. п. Разработанные вкладки графика и левая часть панели обоснована необходимостью контроля и анализа технологических и эксплуатационных показателей по сопутствующим признакам. Данные показатели не содержаться в известных разработках диагностических стендов и приборов. Кроме того, существующие датчики, применяемые на экскаваторах не способны считывать информацию об энергоэффективности процессов и режимов работы гидропривода. В разработанной авторами панели через алгоритм взаимосвязи оценивается мощность гидропривода  $N_{\text{пп}}$ , удельная работа  $A_{\text{уд}}$ , удельный расход топлива  $g_e$ , потери давления  $\Delta P$  в заданных условиях, КПД гидропривода и создаваемое усилие на штоке  $R_{\text{ц}}$ . В зависимости от графического отображения результатов, качественные характеристики закономерностей процесса разработки грунта отслеживаются стрелочными индикаторами и цифровыми терминалами (рис. 3). Индикаторы отображают результаты разработки грунта экскаватором, а регуляторы дают возможность пользователю задать исходные данные. Среда LabVIEW при помещении объекта на экран передней панели определяет режим работы. Тумблер будет по умолчанию работать в режиме «регулятор», а фактическое усилие на штоке или КПД – в режиме «индикатор».

На графике (рис. 3) показано изменение мощности гидропривода при переходном режиме от зачерпывания грунта к выгрузке, которое характеризуется всплеском амплитуды. Длина периода показана "ершистостью" графика, которая вызвана малым периодом принятого временного интервала, что характеризует быстрое срабатывание клапанных механизмов и регулятора расхода жидкости. Такой вид графика характеризует постоянно изменяющуюся величину мощности в зависимости от нарастающей силы на штоке цилиндра при внедрении режущей кромки ковша в грунт. Максимальное значение мощности составляет  $N_{\text{пп}}=25$  МПа. На штоке гидроцилиндра в этот момент развивается максимальная сила. Снижение мощности происходит в момент открытия редукционного клапана сброса давления в гидросистеме. Но это вовсе не означает, что гидропривод работает эффективно. Часть энергии затрачивается на преодоление сопротивления собственных масс оборудования и внутренних сопротивлений. Это отражено на графике в виде циклического изменения амплитуды мощности за очень короткий промежуток времени. Таким образом, изменение амплитуды в пределах с  $N_{\text{пп}} \approx 22$  до 24 МПа свидетельствует о суммарных потерях мощности. Данные потери говорят о наличии нестабильных процессов в гидроприводе.

На рис. 4 представлена разработанная блок-диаграмма генерации и отображения зависимостей энергоэффективности гидропривода экскаватора.

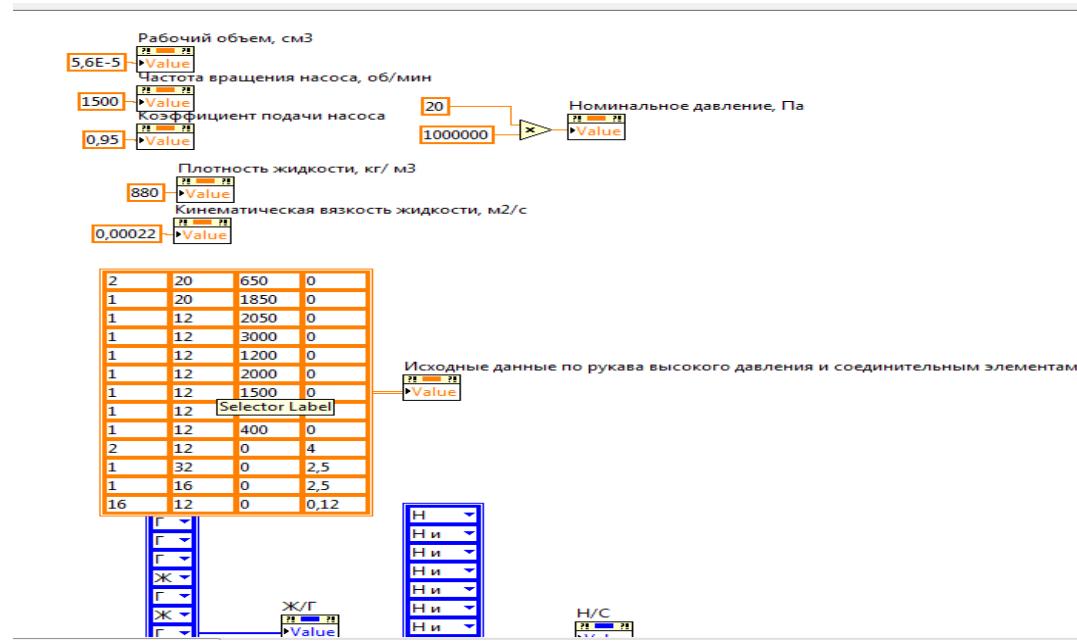


Рис. 4. Блок-диаграмма исходных данных гидропривода

Блок-диаграмма включает в себя терминалы, узлы, провода и константы, а также

содержит необходимые графические или текстовые комментарии (рис. 5).

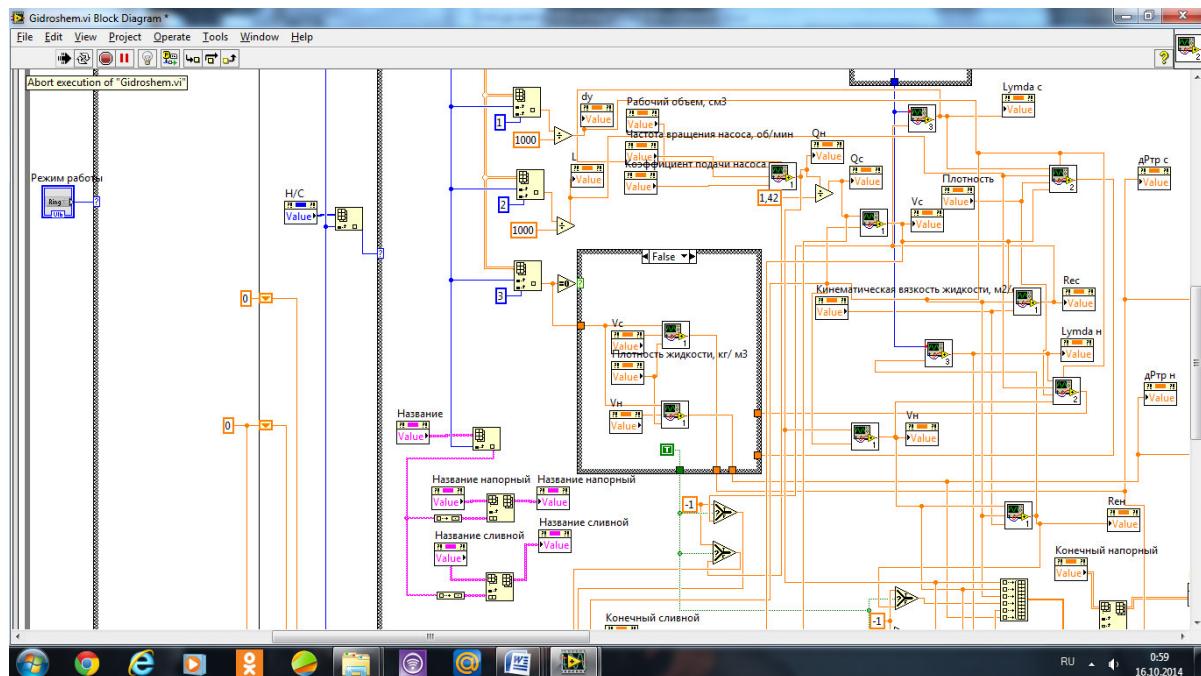


Рис. 5. Блок-диаграмма генерации процессов исследования

Основные массивы происходящих процессов регламентируются терминалом (Terminal). Один терминал на предложенной блок-диаграмме соответствует каждому элементу передней панели. Терминалы отображаются как пиктограммы в зависимости от настроек LabVIEW, соответствующие элементам передней панели, или как цветные прямоугольники различного вида.

Разработанный виртуальный стенд «GIDRO-Lab» может передавать непосредственно по шине GPIB до 1000 отсчетов в секунду в удобном для оператора формате ASCII. В стандартной конфигурации измерительных приборов имеются два типа интерфейсов: VISA и RS-232. Диагностический прибор «GIDRO-Lab» выдает сигналы завершения измерения и внешнего запуска (External Trigger), с помощью которых можно синхронизировать его работу с другими приборами в системе. Прибор «GIDRO-Lab» выдает также TTL-сигнал, указывающий на положительные или отрицательные результаты допусковых испытаний.

Разработанный «GIDRO-Lab» поддерживает три командных языка (SCPI, Agilent 3478A и Fluke 8840A/42A), поэтому пользователю не приходится переписывать уже существующее программное обеспечение испытаний. Функции меню дают доступ к усовершен-

ствованным свойствам прибора, что позволяет оптимизировать его работу для каждой конкретной измерительной задачи.

Программный пакет Agilent IntuiLink позволяет упростить обработку накопленных данных, используя графическую среду разработки LabVIEW, для анализа, интерпретации, отображения, и документирования данных. Возможность записи больших данных позволяет запоминать результаты, что способствует проведению ретроспективного анализа, статистической обработки и т.д.

Первостепенное обращение оператора-исследователя к программной оснастке прибора «GIDRO-Lab» (рис. 6) заключается во взаимодействии запрашиваемых первичных данных с библиотечной базой данных. Программа, принимая запрос, анализирует, интерпретирует на «машинный язык» поставленную задачу и в виде отчета формирует информацию по входным данным первичной обработки. Далее, при соответствии техническим условиям, происходит интеграция выбранных данных или ПО с разработанным прибором. При сканировании совместимости программ формируется отчет с рекомендациями об изменениях или принятия задачи. Комплекс описанных мер по сути является отладкой и адаптацией системы к заданным условиям работы. Далее оператором

исследователем вносится необходимый массив данных по исследуемому объекту, проверяется связь установленных датчиков с бло-

ком управления и запускается прибор на заданных режимах работы.

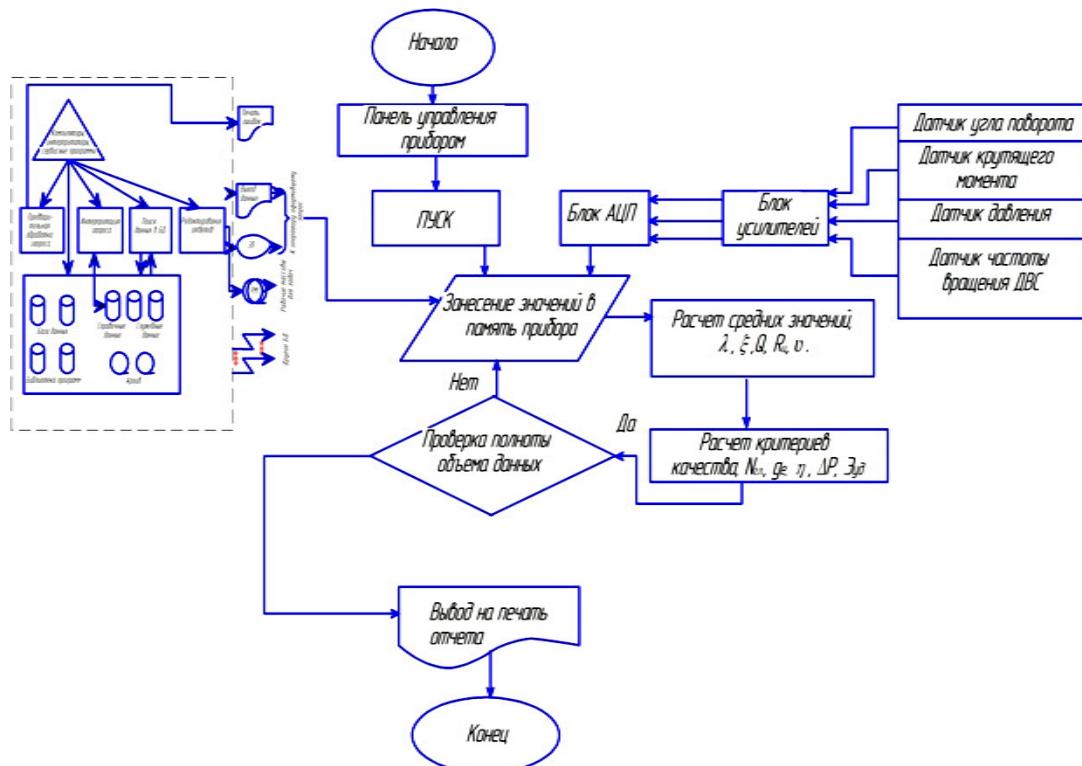


Рис. 6. Блок-схема алгоритма функционирования прибора «GIDRO-Lab»

Считывая сигналы с датчиков, прибор их идентифицирует и направляет в блок - диаграмму. Далее по разработанному алгоритму (рис. 6) происходит первичный расчет данных указанных в задаче.

При поступлении нового или дополнительного массива данных анализируется корректность введенных показателей и полнота объема данных для проведения расчетной операции. При выполнении условии, формируется терминал количественных показателей с преобразованием их в блоки диаграмм находящиеся в постоянной динамике при поступлении меняющихся сигналов.

После окончательной обработки формируется отчет на мониторе ПК и выводится на печать.

### **Заключение**

1. Достаточно результативно использован комплекс базовых методов исследования, в т.ч. имитационное моделирование процессов. На базе ПО и среды LabVIEW разработана методика проведения виртуального эксперимента энергоэффективности гидропривода экскаватора, позволившая выявить качест-

венно новые закономерности исследуемых явлений:

- нагрузочные режимы гидропривода;
- мощностной баланс гидропривода;
- удельную энергоемкость технологических процессов;
- эксплуатационные показатели силовой установки.

2. Разработанный виртуальный прибор обладает расширенным спектром функций по исследованию причинно-следственных связей, установлению зависимостей протекающих процессов в системах гидропривода землеройных машин.

3. Разработанный алгоритм работы виртуального стенда обеспечивает получение новых достоверных результатов по исследованию энергоэффективности экскаватора с учетом изменяющихся условий эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. Савинкин, В.В. Развитие теории энергоэффективности одноковшового экскаватора : дис. ... д-ра техн. наук. – Омск, 2016. – 390 с.

2. Перепеловский, В.В. Технологии виртуального программирования / В.В. Перепеловский, Н.Р. Кириллова. – М. : СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2000. - 64 с.
3. Lee S.U., Chang P.H. Control of a heavy-duty robotic excavator using time delay control with integral sliding surface. // Control Engineering Practice. –2002. – Т. 10. – № 7. – Р. 697–711.
4. Кузнецова, В.Н. Обоснование критериев оценки эффективности экскаватора KOMATSU PC300 / В.Н. Кузнецова, В.В. Савинкин // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 3. – С. 9-12.
5. Васильев, Л.В. Развитие математического моделирования гидроагрегатов на основе применения элементов теории подобия / Л.В. Васильев // Приводная техника. – 2001. – № 1. – С. 30-43.
6. Seward D., Pace C., Morrey R., Sommerville I. Safety analysis of autonomous excavator functionality. Reliability Engineering & System Safety. –2000. – Т. 70. – № 1. – С. 29–39.
7. Основы научных исследований на компьютере : методические указания к курсу лабораторных работ / сост. В.А. Мещеряков. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2004. – 28 с.
8. Павлов, В. П. Моделирование на ЭВМ нагрузок в элементах гидромеханизмов произвольной структуры / В. П. Павлов // Транспортные средства Сибири : материалы межвуз. научно-практик. конф. с международн. участием. – Красноярск : ИТТ КГТУ, 1995. – С. 326 –330.

**Abstract.** The current stage of development of processes of modeling systems characterized by an increase of functional saturation. Modeling work processes excavator hydraulic drive is a complex hierarchical task, as in the performance of technological operations of the excavator is necessary to record and analyze a large number of factors and parameters, dynamically changing over time. The article reflected the description of the developed complex systems of the pilot studies shovel energy efficiency through the integration of support virtual systems, has a wide range of functionality and reduces the complexity of carrying out experimental research.

**Keywords.** watching system, algorithm, resistance forces, kinematic couple.

### References

1. Savinkin V.V. Development of energy efficiency theory shovel: Dis .... Dr. tehn. Sciences. - Omsk, 2016. - 390 p.
2. Perepelovsky V.V. Virtual Programming / V. V. Perepelovsky, N.R. Kirillov. - M .: ETU "LETI", 2000. - 64 p.

3. Lee S.U., Chang P.H. Control of a heavy-duty robotic excavator using time delay control with integral sliding surface. // Control Engineering Practice. –2002. – Т. 10. – № 7. – Р. 697–711.

4. Kuznetsova V.N., Savinkin V.V. Justification criteria for evaluating the effectiveness of the excavator KOMATSU PC300 // Building and road machines. - 2014. - №3. - Р. 9-12.

5. Vasiliev L. V. The development of mathematical modeling of hydraulic units on the basis of the elements of similarity theory // Drive technology. 2001. № 1. S. 30-43.

6. Seward D., Pace C., Morrey R., Sommerville I. Safety analysis of autonomous excavator functionality. Reliability Engineering & System Safety. –2000. – Т. 70. – № 1. – С. 29–39.

7. Basic research on the computer: guidelines for the course labs / Comp. V.A. Meshcheryakov. - Omsk: Publishing house SibADI, 2004. - 28 p.

8. Pavlov V. P. Simulation of loads on the computer in the elements of any structure gidromehanizmov / VP Pavlov // Vehicles Siberia: materials Intercollege. Scient. Conf. with internationally. participation. - Krasnoyarsk. ITT KSTU, 1995. P. 326 -330.

Савинкин Виталий Владимирович (Петропавловск, Казахстан) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Транспорт и машиностроение» РГП ПХВ «СКГУ им. М. Козыбаяева» (150000, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, e-mail: cavinkin7@mail.ru).

Кузнецова Виктория Николаевна (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» (ЭСМиК) ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Vitaly V. Savinkin (Petropavlovsk, Kazakhstan) – Candidate of Technical Sciences, the associate professor, the head of the department "Transport and mechanical engineering" RSE REM "SKGU of M. Kozymbayev" (150000, Petropavlovsk, Pushkin St., 86, e-mail: cavinkin7@mail.ru).

Victoria N. Kuznetsova (Omsk, Russia) – the Doctor of Engineering, professor, professor of "Operation and Service of Transport Technological Machines and Complexes in Construction" chair (OSTTMC) FPE HE of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).