

При определении коэффициента  $\lambda_m$  необходимо учитывать влияние взаимодействия частиц между собой в процессе движения. Из уравнения (26) при  $V_0 = 0$  и  $V_m = V_k$ , используя закон Ньютона, определим коэффициент ускорения частиц при установившемся движении  $\psi_0$ :

$$\psi_0 = \frac{q}{V_k^2}. \quad (35)$$

В уравнении (35) используется величина средней конечной скорости массы частиц, так как она отражает режим движения скоплений материала в воздушном потоке. Конечную скорость частиц массы необходимо определять с учетом изменения плотности воздуха по длине пневмопровода. Для учета взаимодействия частиц между собой в процессе движения введем в уравнение для расчета  $\lambda_m$  в случае разгона показатель уменьшения коэффициента ускорения:

$$\varphi = \frac{\psi V_k^2}{q}. \quad (36)$$

Показатель уменьшения коэффициента ускорения по предварительным данным зависит главным образом от массовой концентрации аэроаэрозоли и определяется экспериментальным путем.

### Заключение

В результате проведенных теоретических исследований установлены зависимости, которые можно использовать при практическом определении потерь давления при транспортировании материалов по горизонтальному пневмопроводу. Разработанный метод позволяет определять величину потерь давления с использованием только таких свойств материала, как его конечная скорость и коэффициент кинетического трения.

### Список использованных источников

1. Хрусталева, Б.М. Пневматический транспорт / Б.М. Хрусталева, Н.В. Кислов. – Минск : ООО «Информационная служба недвижимости», 1998. – 452 с.
2. Малис, А. Я. Пневматический транспорт для сыпучих материалов / А.Я. Малис, М.Г. Касторных. – М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.
3. Чальцев, М. Н. Теория и разработка пневмотранспортных систем //Вестник Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 1. – С. 40–43.
4. Пневматический транспорт : пат. 2344983 Российской Федерации, МПК В65G 51/00 / А.Е. Падалко : заявитель Падалко А.Е. – № 2006134922/11 ; заявл. 02.10.2006 ; опубл. 27.01.2009.
5. Селезнев, В.Е. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, С.Н. Прялов – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 436 с.

УДК 631.3.072

Поступила в редакцию 02.09.2022

Received 02.09.2022

**А. А. Жешко, А. В. Ленский**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com*

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

*Аннотация.* Рассмотрены особенности построения функциональной и информационной моделей автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы.

*Ключевые слова:* тяговое сопротивление, комплектование машинно-тракторных агрегатов, автоматизированная система, функциональная и информационная модель.

## FUNCTIONAL AND INFORMATION MODELS OF THE AUTOMATED SYSTEM OF RATIONAL ACQUISITION OF MACHINE-TRACTOR AGGREGATES

*Abstract.* The features of development a functional and information models of an automated system of rational acquisition of machine-tractor aggregates for basic tillage are considered.

*Keywords:* traction resistance, acquisition of machine-tractor units, automated system, functional and information model.

### Введение

Проектирование автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов предполагает несколько обязательных этапов, которые способствуют достижению наиболее сбалансированного результата во внешней реализации приложения и получению эффективной структуры программного кода.

Метод и стратегия решения задачи комплектования машинно-тракторных агрегатов определяются способом представления внутренних данных, что требует адаптации алгоритма для реализации в приложении, разработки документации к программному обеспечению, которая, помимо справочной информации, также должна включать технические требования на автоматизированную систему, проведения тестирования разработанной программы и сравнения расчетных данных с протоколами испытаний сельскохозяйственной техники.

### Основная часть

На начальном этапе проектирования автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов выполняется описание системы на концептуальном уровне. Между объектами системы при комплектовании машинно-тракторного агрегата происходит обмен синхронными и асинхронными сообщениями.

На рис. 1 представлена диаграмма развертывания автоматизированной системы, которая состоит из клиентской части, представляющей собой физическое устройство на платформе Android б+, на котором реализовано приложение, а также сервера Agronaut, на котором хранятся PHP-скрипты с кодом контроллера и модели приложения.

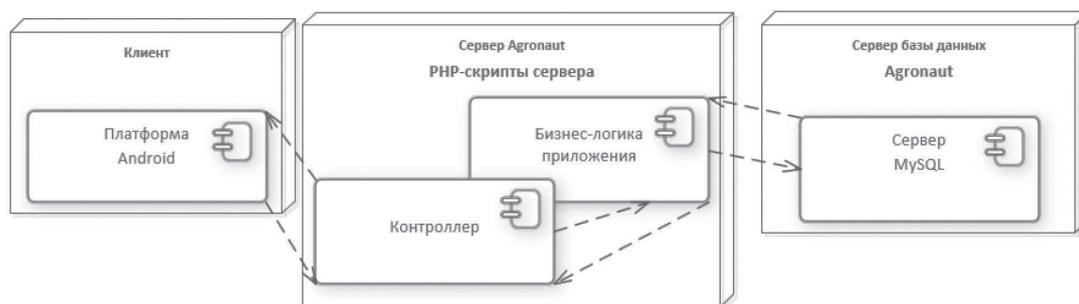


Рис. 1. Диаграмма развертывания автоматизированной системы для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов

Таким образом, автоматизированная система для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов реализована в рамках паттерна «Модель-Представление-Контроллер» [1].

*Функциональная модель работы приложения и ее декомпозиция.* Для формализации и описания бизнес-процессов автоматизированной системы рационального комплектования машинно-трак-

торных агрегатов целесообразно воспользоваться методологией функционального моделирования и графической нотацией IDEF0, которая нацелена на раскрытие соподчиненности объектов моделирования. Отличительной особенностью методологии IDEF0 является рассмотрение логических взаимосвязей объектов модели, а не поточности их выполнения. При этом система представляется как «черный ящик» с входными и выходными данными, управлением и механизмом реализации определенной функции.

На рис. 2 представлена диаграмма на основе методологии IDEF0, представляющая функциональную модель системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата. Как видно из диаграммы, основной функцией системы является комплектование машинно-тракторного агрегата, исходными данными служат технические характеристики энергетического средства I1 и сельскохозяйственной машины для основной обработки почвы I2, на выходе в результате функционирования системы получаем скомплектованный агрегат O1 [2].

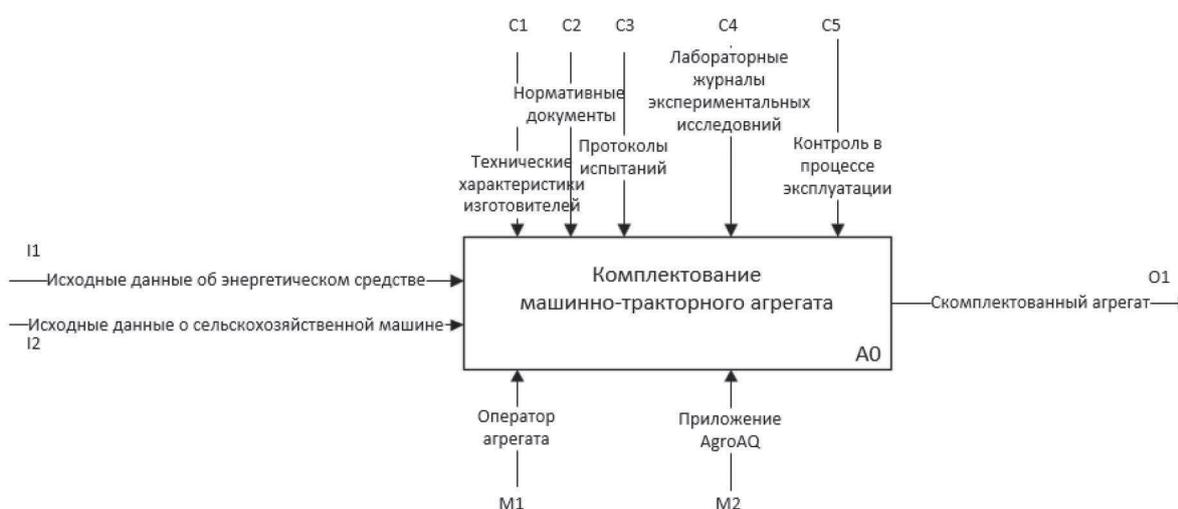


Рис. 2. Диаграмма на основе методологии IDEF0, представляющая функциональную модель системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата на уровне A0

Управляющими элементами при этом являются:

- 1) C1 – технические характеристики от производителей энергосредств и сельскохозяйственных машин для основной обработки почвы;
- 2) C2 – нормативные документы, например отраслевые нормы выработки и расхода топлива на механизированные работы в сельском хозяйстве;
- 3) C3 – протоколы испытаний сельскохозяйственной техники;
- 4) C4 – лабораторные журналы экспериментальных исследований;
- 5) C5 – контроль в процессе эксплуатации.

Механизмы реализации комплектования заключаются в совместных действиях оператора машинно-тракторного агрегата M1, который осуществляет выбор исходной информации и воздействие на элементы управления приложением, а также в функционале приложения AgroAQ M2, которое позволяет выполнять необходимые вычисления и выдавать рекомендации относительно рациональности комплектования конкретного машинно-тракторного агрегата.

На рис. 3 представлена декомпозиция функциональной модели на уровне A1–A4.

Декомпозиция процесса комплектования машинно-тракторного агрегата представлена следующими основными функциями:

A1 – подготовка исходных данных, в качестве входных данных выступают элементы I1 и I2. Процесс осуществляется оператором МТА M1, а правильность отработки функции контролируется элементами C1 и C2 за счет загрузки в каждый последующий селективный элемент управления перечня техники и параметров, логически взаимосвязанных с выбранными на предыдущем шаге. Необходимо отметить, что функционал приложения также участвует в реализации механиз-

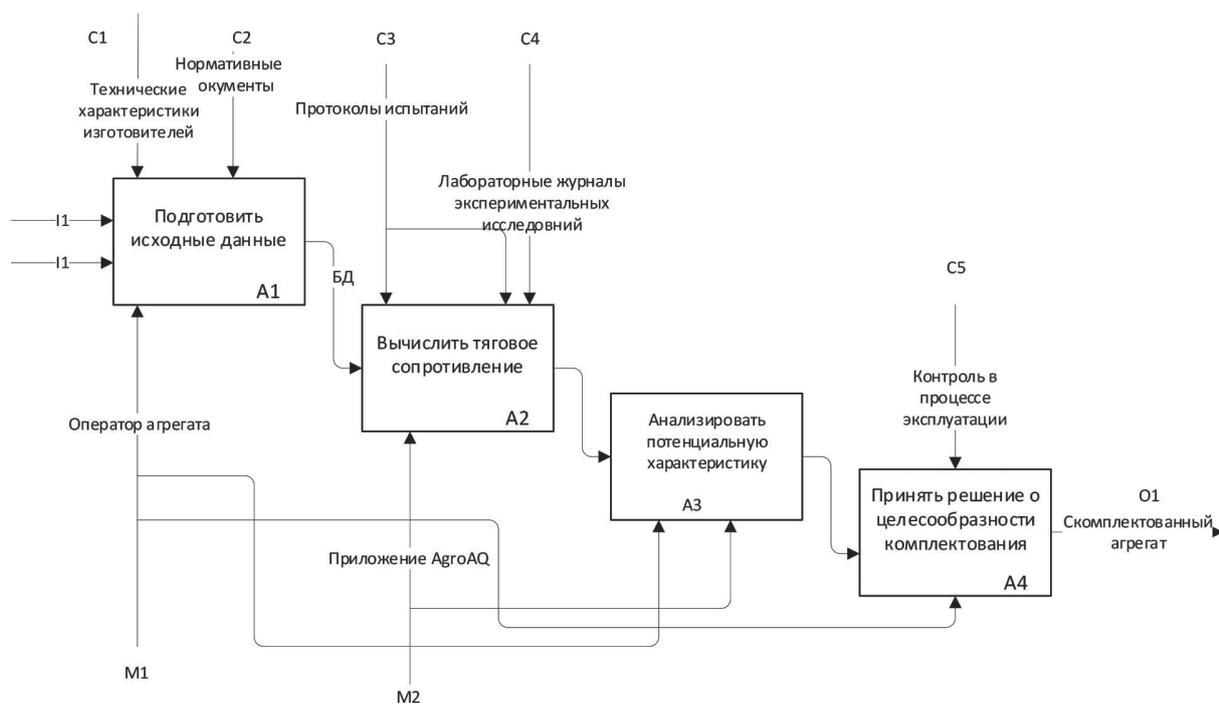


Рис. 3. Декомпозиция функциональной модели системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

ма подготовки исходных данных, однако роль оператора МТА при этом существенно преобладает. Переход от блока А1 к А2 сопровождается формированием запроса к базе данных с индексами, выбранными в блоке А1, и передачей информации из базы данных для вычислений в блоке А2;

А2 – вычисление тягового сопротивления осуществляется исключительно за счет функционала приложения М2, в процессе выполнения расчетов происходит согласование получаемых результатов с данными протоколов испытаний техники С3, кроме того, расчеты основаны на математических моделях, построенных по результатам экспериментальных исследований С4; результаты расчета передаются к блоку А3 и используются для построения потенциальной характеристики трактора, а также для формирования рекомендаций о рациональности комплектования машинно-тракторного агрегата;

А3 – анализ потенциальной характеристики и ознакомление с рекомендациями о рациональности комплектования осуществляется оператором М1, приложение AgroAQ осуществляет построение потенциальной характеристики и формирует рекомендации на основании выполненных расчетов;

А4 – принятие решения о рациональности комплектования агрегата осуществляется оператором М1. Для контроля С5 за правильностью принятого решения в процессе отладки приложения и в период расширения его функционала могут участвовать инженерные работники, разработчик, оператор МТА и другие заинтересованные лица.

Декомпозиция функции подготовки исходных данных модели представлена на рис. 4. Механизмом реализации функции является оператор МТА М1.

А1.1 и А1.2 – выбор марки машины и трактора соответственно, осуществляется на основании данных, хранящихся в базе, которая согласована с техническими характеристиками заводов-изготовителей техники и другими нормативными документами;

А1.3 – выбор типа почвы осуществляется из предлагаемого перечня, который соответствует общепринятой классификации для возделывания основных сельскохозяйственных культур;

А1.4 – формирование комплекта рабочих органов сельскохозяйственной машины для основной обработки почвы осуществляется на основе данных, приведенных в технических характеристиках.

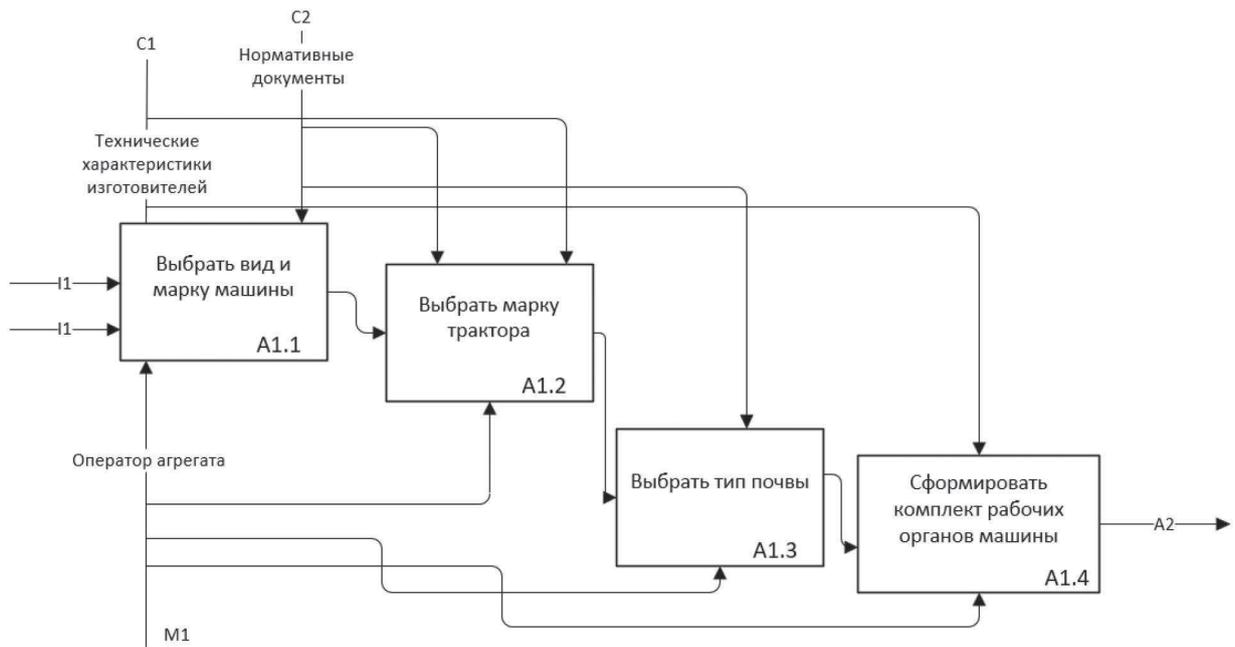


Рис. 4. Декомпозиция функции подготовки исходных данных модели системы рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

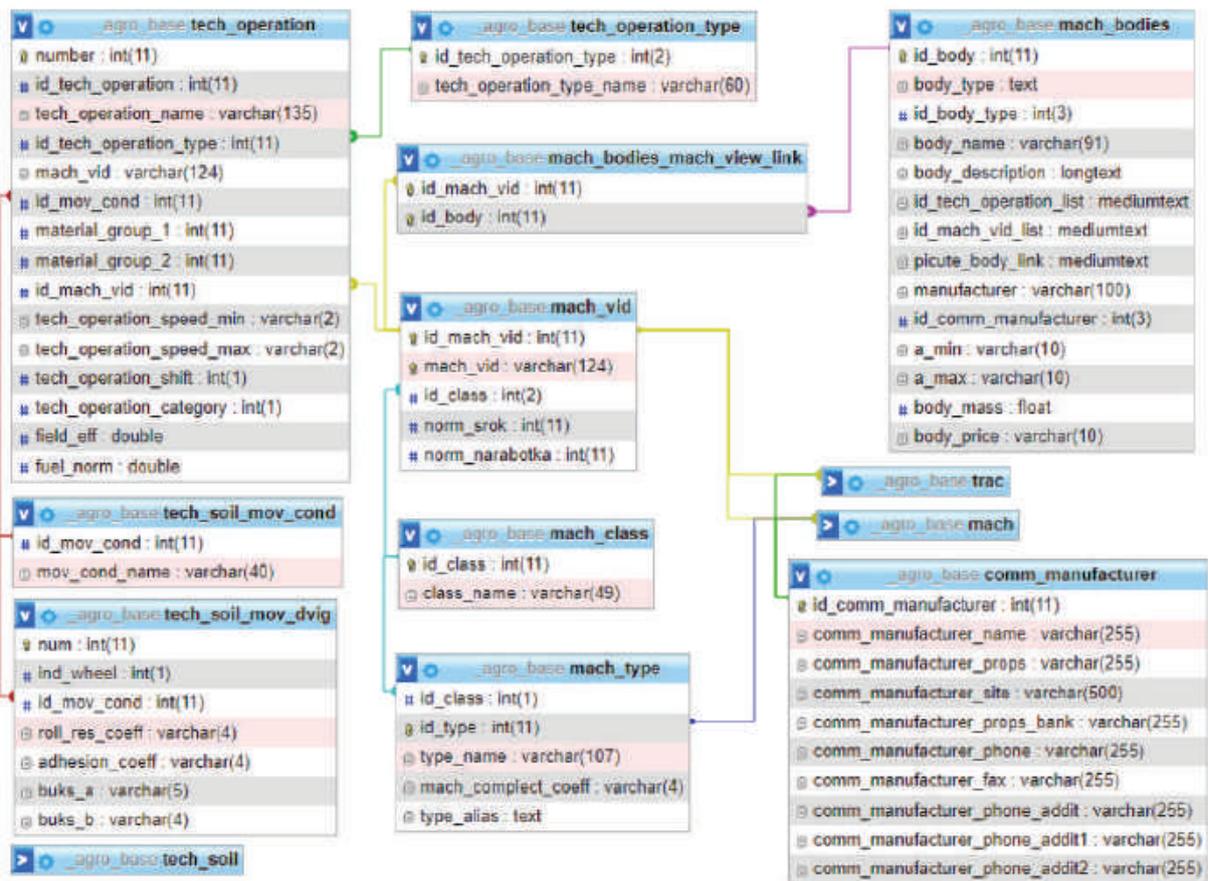


Рис. 5. Информационная модель автоматизированной системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов

Таким образом, функциональное моделирование системы позволило выделить основные процедуры, которые должны быть реализованы в системе для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов:

- подготовка исходных данных и вычисление тягового сопротивления;
- построение потенциальной характеристики;
- разработка вспомогательных функций, необходимых для реализации основных.

*Информационная модель системы рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.* Сущности информационной модели и связи между ними представлены на рис. 5. Основной точкой входа модели является сущность `mach_vid`, которая содержит информацию о более 80 видах машин, применяемых в сельскохозяйственном производстве. Ввиду специфики разрабатываемого приложения пользователю предоставляется перечень из 7 наименований видов для основной обработки почвы. Для группировки сущности `mach_vid` применяются вспомогательные таблицы `mach_class` и `mach_type`, связанные с таблицей `mach_vid` отношением «один ко многим» [3, 4].

После выбора вида машины пользователю предлагается выделить связанную с индексом вида марку машины из перечня, приведенного в сущности `mach`. Таблица `mach` связана с таблицей `mach_vid` логическим отношением «многие к одному». В зависимости от сделанного выбора пользователю предлагается выделить марку трактора для расчетов (перечень марок тракторов хранится в таблице `trac`).

Таблица `tech_soil` является свободной от связей и позволяет учитывать в расчетах корректирующий коэффициент в зависимости от типа почвы: суглинистая, рыхлопесчаная и т.д.

Уточнить и сформировать комплект рабочих органов машины позволяют данные таблицы `mach_bodies`, которая связана соотношением «многие ко многим» через промежуточную таблицу `mach_bodies_mach_vid_link` с таблицей `mach_vid`.

Таким образом, информационная модель является основой для формирования и наполнения интерактивных элементов интерфейса приложения, а сформированная база данных является поставщиком данных в расчетные модули. Система рационального комплектования машинно-тракторного агрегата реализована в приложении AgroAQ [5].

### Заключение

1. Предложены функциональная модель работы приложения для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов и ее декомпозиция, а также декомпозиция процесса подготовки исходных данных, что позволило выделить основные функции, которые должны быть реализованы в системе для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.

2. Разработана информационная модель системы, определены точки входа модели и логические связи между сущностями, а также обоснованы применяемые программные средства и среды для реализации приложения.

3. Система рационального комплектования машинно-тракторного агрегата реализована в приложении AgroAQ. Согласно расчетам, отклонения между значениями часового расхода топлива при испытании сельскохозяйственной техники со значениями, полученными расчетным путем, составляют менее 10 %, что подтверждает корректность работы автоматизированной системы для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.

### Список использованных источников

1. Гаст, Х. Объектно-ориентированное проектирование: концепции и программный код / Х. Гаст. – М.: Диалектика, 2018. – 1040 с.
2. Розин, В. М. Проектирование и программирование: Методологическое исследование. Замысел. Разработка. Реализация. Исторический и социальный контекст / В. М. Розин. – М.: Ленанд, 2018. – 160 с.
3. Круз, Р. Л. Структуры данных и проектирование программ / Р. Л. Круз. – М.: Бином, 2014. – 765 с.
4. Михайлов Л. Объектно-ориентированная технология разработки программных систем. — М.: Финансы и статистика, 2005. – 298 с.
5. Ленский, А. В. Методы определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин / А. В. Ленский, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 188–198.