

УДК 004

## РАЗРАБОТКА ИС ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ЗАГРУЗКИ АВТОСАМОСВАЛА

Манашов П.Д., студент гр. ИИБи-231, III курс Кузбасский государственный  
технический университет им. Т. Ф. Горбачева; ФИЦ угля и углехимии СО  
РАН

Научный руководитель: Кузнецов И. С., к.т.н.  
Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева  
ФИЦ угля и углехимии СО РАН

В статье рассматривается задача повышения надёжности и производительности экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) за счёт автоматизации расчёта степени загрузки автосамосвала. Представлена разработанная система «Расчёт нагрузки на самосвал», реализованная как настольное приложение на базе WPF и C#. Система позволяет оператору ввести параметры (марку самосвала, тип грунта, коэффициент разрыхления) и получить:

- фактическую массу груза с учётом плотности и лимита по массе,
- процент загрузки и статус работы («норма», «предупреждение», «перегрузка»),
- количество ковшей, необходимых для заполнения кузова,
- рекомендации по оптимизации режима погрузки.

Система взаимодействует с локальной базой данных PostgreSQL и обеспечивает экспорт результатов в Excel с синхронизацией в Google Диск. Тестирование показало, что система исключает перегрузку даже при высокой плотности грунта ( $2.6 \text{ т/м}^3$ ) и снижает риск вычислительных ошибок на 100%.

На современных карьерах Кузбасса основным видом транспорта является автомобильный. Однако, согласно данным шести крупнейших разрезов, доля аварийных и организационных простоев достигает 46,2% от общего времени работы ЭАК, причём более 30% из них обусловлены неправильным выбором режима погрузки — в частности, перегрузкой автосамосвалов.

В настоящее время расчёты выполняются вручную: операторы используют справочные таблицы, формулы из методических пособий и данные паспортов машин. Такой подход:

- требует значительного времени,
- сопряжён с риском арифметических ошибок,
- не учитывает изменение свойств грунта в реальном времени.

Для решения этой проблемы разрабатывается система «Расчёт нагрузки на самосвал», ориентированная на технолога и запускаемая перед началом смены.

Сама система будет реализована в виде настольного приложения (WPF) на языке программирования C# с использованием интегрированной среды разработки Visual Studio. Также в систему будет входить база данных (БД), созданная в СУБД PostgreSQL, которая хранит следующую информацию:

- данные об автосамосвалах (марка, грузоподъемность, вместимость кузова);
- свойства грунтов (плотность).

Предполагается, что программа будет установлена на персональном компьютере оператора или технолога и запускаться перед началом смены. При старте система автоматически загружает данные из БД. Пользователь выбирает:

- марку автосамосвала,
- вид грунта,
- и вводит значения:
  - коэффициента разрыхления.

После нажатия кнопки «Рассчитать нагрузку» система:

1. Рассчитывает фактическую массу груза с учётом плотности грунта и допустимой грузоподъемности.
2. Определяет процент загрузки и выводит статус:
  - «В норме» (до 80%)
  - «Предупреждение» (80 – 100%)
  - «Перегрузка» (> 100%)
3. Вычисляет количество ковшей, необходимых для заполнения кузова.
4. Генерирует рекомендации по оптимизации режима погрузки (например: «Снизьте объём до Х.Х м³», «Используйте ковш меньшей вместимости»).
5. Предоставляет возможность сохранить результаты в виде таблицы Excel и синхронизировать их с Google Диск.

Диаграмма деятельности процесса расчета нагрузки на автосамосвал представлена на рисунке 1.

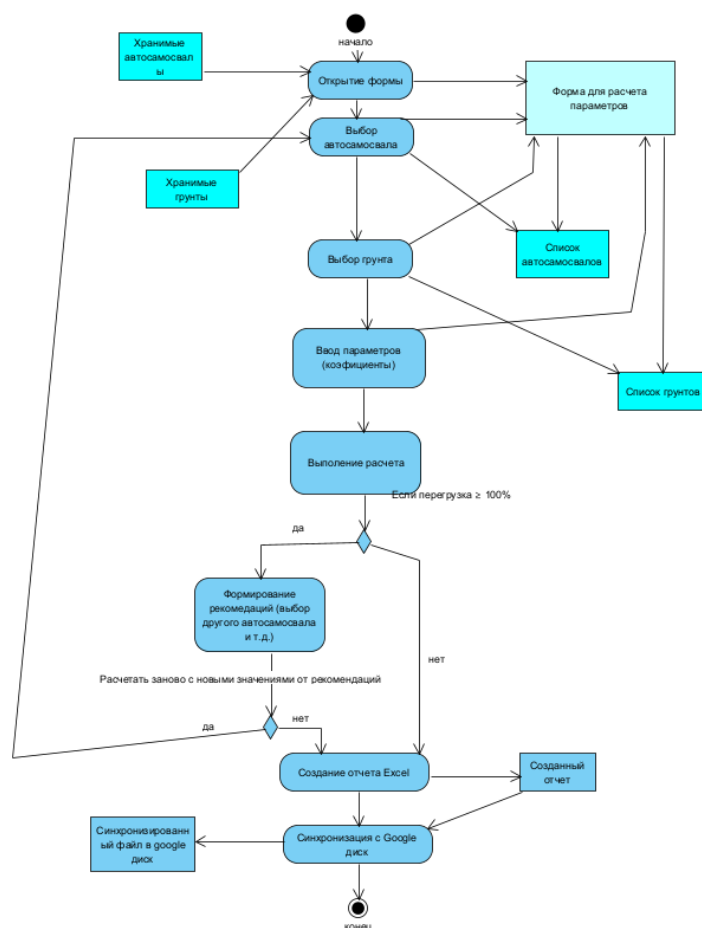


Рисунок 1 – Диаграмма деятельности процесса расчета загрузки автосамосвала.

После выполнения расчёта оператор инициирует формирование отчёта. Процесс состоит из трёх основных этапов:

1. Формирование отчёта — система агрегирует исходные данные (марка автосамосвала, тип грунта), введённые параметры (коэффициент разрыхления) и результаты расчёта (фактическая масса груза, процент загрузки, статус, количество ковшей, рекомендации).

2. Создание отчёта в Excel — на основе собранных данных генерируется таблица в формате .xlsx с:

- заголовками столбцов,
- числовыми данными в правильном формате (с точностью до 2 знаков после запятой),
- цветовой индикацией статуса (зелёный — норма, оранжевый — предупреждение, красный — перегрузка),
- структурированным списком рекомендаций.

3. Синхронизация с Google Диск — после успешного сохранения файла локально система автоматически загружает его в облачное хранилище Google Drive и фиксирует событие в таблице ЖурналРасчётов (БД PostgreSQL):

- ID\_расчёта,

- Дата\_время,
- Марка\_самосвала,
- Тип\_грунта,
- Файл\_путь,
- Статус\_операции.

Этот процесс обеспечивает полную аудитируемость, позволяет восстановить историю расчётов, отследить изменения режимов погрузки и соответствует требованиям к документообороту на горнодобывающих предприятиях.

Диаграмма деятельности для создания отчета после расчета представлена на рисунке 2.

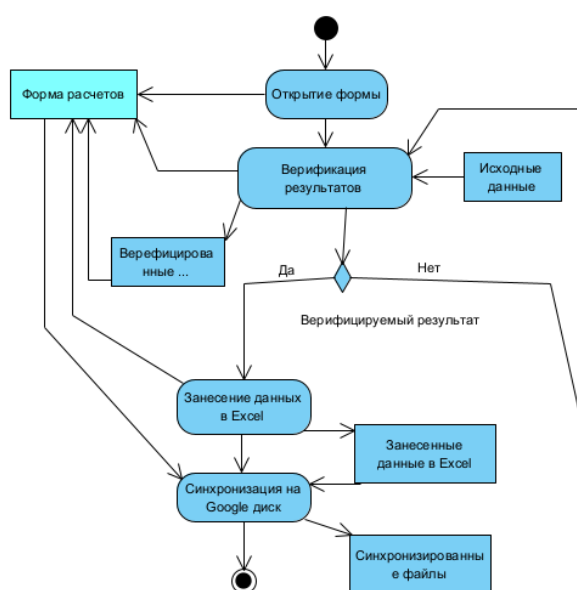


Рисунок 2 – Диаграмма деятельности процесса синхронизации с Google диск.

Для начала необходимо разработать и настроить настольное приложение, реализующее функции расчёта загрузки автосамосвала. Проект создаётся в интегрированной среде разработки Visual Studio с использованием платформы .NET Framework и технологии WPF (Windows Presentation Foundation), а также с языком программирования C#.

Созданное настольное WPF приложение представлено на рисунке 3.

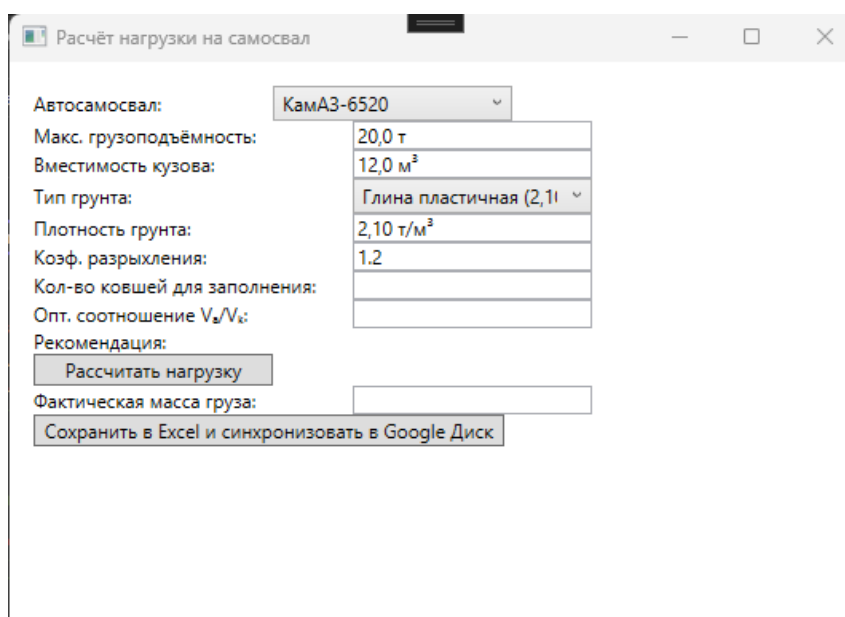


Рисунок 3 – Созданное настольное WPF приложение.

Для разработки пользовательского интерфейса и реализации расчётных функций необходимо использовать интегрированную среду разработки Visual Studio и технологию WPF (Windows Presentation Foundation).

При помощи Visual Studio создаётся проект типа настольное приложение, где формируется графический интерфейс (MainWindow.xaml) и программная логика (MainWindow.xaml.cs). Для подключения к базе данных используется библиотека Npgsql, которая устанавливается через систему управления пакетами NuGet.

Само приложение имеет вид оконного интерфейса, содержащего:

- поля выбора: автосамосвал, тип грунта,
- текстовые поля для ввода параметров: коэффициент разрыхления,
- кнопку запуска расчёта — «Рассчитать нагрузку»,
- поле вывода рекомендаций,
- кнопку сохранения отчёта — «Сохранить в Excel и синхронизировать в Google Диск».

Для автоматического формирования отчётов используется библиотека ClosedXML, позволяющая создавать и редактировать файлы .xlsx без участия пользователя. Синхронизация с облачным хранилищем реализована через Google.Apis.Drive.v3.

Программа работает на персональном компьютере оператора или технолога. При старте она автоматически подключается к локальной базе данных PostgreSQL, хранящей справочники:

- автосамосвалы (марка, грузоподъёмность, вместимость кузова),
- грунты (название, плотность).

После выполнения расчёта система анализирует процент загрузки и при необходимости формирует рекомендации по оптимизации режима погрузки. Чтобы обеспечить бесперебойную работу интерфейса, все тяжелые операции (загрузка данных, расчёт, экспорт в Excel, синхронизация) выполняются в

фоновых потоках — это предотвращает зависание формы.

Так как основные процессы — загрузка данных, выполнение расчёта, генерация отчёта и синхронизация — требуют времени, их выполнение выносится в отдельный поток при помощи конструкции `async/await`. Это позволяет пользователю продолжать взаимодействовать с интерфейсом во время обработки запроса.

Для начала необходимо установить соединение с базой данных. Создаём экземпляр класса `NpgsqlConnection` и передаём в него строку подключения показано на рисунке 4.

```
Ссылка 2
public partial class MainWindow : Window
{
    private string connString = "Host=localhost;Port=5432;Database=PraktikaVaneevP;Username=postgres;Password=1234;";
    private List<Самосвал> Самосвалы = new List<Самосвал>();
    private List<Грунт> Грунты = new List<Грунт>();
}
```

Рисунок 4 – Подключение к базе данных PostgreSQL.

Поскольку система представляет собой настольное приложение, пользователь взаимодействует с ней через графический интерфейс. Для графического интерфейса используются стандартные элементы WPF.

При запуске программы автоматически загружаются данные из базы: автосамосвалы, грунты.

Выбор параметров и ввод значений — пользователь выбирает:

- марку автосамосвала,
- вид грунта,
- и вводит:
  - коэффициент разрыхления.

При изменении выбора в `comboBox_Самосвал` система автоматически: находит выбранную модель, обновляет поля формы (Грузоподъёмность, Вместимость кузова), вызывает событие `ВыбратьГрунт` для актуализации плотности и расчёта массы груза.

Пример обработки события «Выбрать автосамосвал» показан на рисунке 5.

```
Ссылка 1
private void ВыбратьСамосвал(object sender, SelectionChangedEventArgs e)
{
    if (comboBox_Самосвал.SelectedIndex >= 0)
    {
        var выбранный = Самосвалы[comboBox_Самосвал.SelectedIndex];
        textBox_Грузоподъемность.Text = $"{выбранный.Грузоподъемность:F1} т";
        textBox_Объем.Text = $"{выбранный.Вместимость:F1} м³";
    }
}
```

Рисунок 5 – Обработка события выбрать экскаватор.

Для повышения надёжности и удобства система использует кнопки действий, в виде стандартных элементов WPF.

Вывод кнопок управления показан на рисунке 6.

```
MessageBox.Show("Расчёт выполнен", "Успешно", MessageBoxButton.OK, MessageBoxImage.None);

string link = $"https://drive.google.com/open?id={fileId}";
var result = MessageBox.Show(
    "Данные успешно добавлены в Google Диск!\n\nОткрыть в браузере?",
    "Синхронизация успешна",
    MessageBoxButton.YesNo,
    MessageBoxImage.Information);

if (result == DialogResult.Yes)
{
    System.Diagnostics.Process.Start(new System.Diagnostics.ProcessStartInfo(link) { UseShellExecute = true });
}
catch (Exception ex)
{
    throw new Exception($"Ошибка при загрузке на Google Диск: {ex.Message}");
}
```

Рисунок 6 – Вывод кнопок управления.

Тестирование проводилось на примере автосамосвала БелАЗ-7540 (грузоподъёмность 30.0 т, вместимость кузова 18.0 м³) при работе с плотным грунтом ( $\rho = 2.6 \text{ т/м}^3$ ) и коэффициенте разрыхления  $K = 1.4$ . Были заданы различные значения коэффициента разрыхления. Система корректно рассчитала фактическую массу груза, определила статус «предупреждение» при  $K = 1.4$  и сформировала рекомендации по снижению объёма загрузки.

Тестирование работы расчёта и сохранения в Excel показано на рисунке 7.

Расчёт нагрузки на самосвал

Автосамосвал: БелАЗ-7540

Макс. грузоподъёмность: 30,0 т

Вместимость кузова: 18,0 м³

Тип грунта: Скальный грунт (2,60 т/м³)

Плотность грунта: 2,60 т/м³

Кэф. разрыхления: 1,6

Кол-во ковшей для заполнения: 2

Опт. соотношение  $V_{\text{ф}}/V_{\text{к}}$ : текущее 1,6, опт. ~6,5

Рекомендация: ● Приближаетесь к пределу. Рекомендуется: 18,5 м³

Расчитать нагрузку

Фактическая масса груза: 29,25 т 97,5%

Сохранить в Excel и синхронизировать в Google Диск

Рисунок 7 – Тестирование настольного WPF приложения «Расчёт загрузки автосамосвала».

Благодаря внедрению системы «Расчёт нагрузки на самосвал»:

- Исключаются ручные вычисления и связанные с ними ошибки;
- Снижается вероятность перегрузок и поломок оборудования;
- Увеличивается межремонтный ресурс автосамосвала;
- Повышается производительность за счёт оптимального выбора режима погрузки;
- Обеспечивается стандартизация подхода к управлению ЭАК.

Тестирование системы проводилось на примере БелАЗ-7540. При плотности грунта  $2.6 \text{ т/м}^3$ , коэффициенте разрыхления 1.6 система выявила статус «Предупреждение» (97,5%) и рекомендовала: «Снизьте объём до  $16.1 \text{ м}^3$  ( $\approx 2$  ковша)». После коррекции (снижение плотности до  $2.4 \text{ т/м}^3$  или К до 2) статус сменился на «В норме».

#### **Список литературы:**

1. Катанов И. Б., Сысоев А. А. Разрушение горных пород взрывом: методические указания к практическим занятиям [Электронный ресурс] URL: <https://www.geokniga.org/books/25510> (дата обращения: 23.03.2026).
2. Стенин Д. В. Обоснование влияния ресурса несущих систем и степени загрузки на производительность карьера. [Электронный ресурс] URL: <https://www.dissercat.com/content/obosnovanie-vliyaniya-resursa-nesushchikh-sistem-i-stepeni-zagruzki-na-proizvoditelnost-kare> (дата обращения: 24.03.2026).
3. Зиновьев В. В., Кузнецов И. С., Николаев П. И. Определение степени влияния внеплановых простоев на эксплуатационную производительность экскаваторно-автомобильного комплекса [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-stepeni-vliyaniya-vneplanovyh-prostoev-na-ekspluatatsionnuyu-proizvoditelnost-eksikatorno-avtomobilnogo-kompleksa/viewer>
4. Моделирование на языке UML в среде Visual Paradigm 14. [Электронный ресурс] – URL: <http://sp.cs.msu.ru/ooap/exer2017.html#exer34> (дата обращения: 26.03.2026).