

УДК 004

РАЗРАБОТКА ИС ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ В ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОМ ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКВАВАТОРА

Манашов С.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

При помощи автоматизированной системы человек может повысить точность расчётов и снизить риск ошибок при оценке режима работы горного оборудования. Особенно это актуально для экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК), где перегрузка несущих систем приводит к аварийным простоям и снижению ресурса оборудования.

В настоящее время на многих разрезах Кузбасса процессы планирования и контроля за эксплуатацией экскаваторов выполняются частично вручную. Операторы используют справочные таблицы, формулы из методических пособий и данные паспортов машин, что требует значительного времени и сопряжено с риском вычислительных ошибок. Несвоевременная коррекция режима работы при изменении типа грунта или угла черпания может привести к перегрузкам, преждевременному износу стрелы и ходовой части, а также к увеличению внеплановых простоев.

На шести крупнейших разрезах Кузбасса установлено, что доля аварийных и организационных простоев достигает 46,2% от общего времени работы ЭАК, причём более 30% из них связаны с неправильным выбором режима работы. Это негативно влияет на эксплуатационную производительность и экономические показатели предприятия.

Для повышения эффективности управления режимами работы разрабатывается автоматизированная система расчёта нагрузки и производительности экскаваторов. Система имеет название «Расчёт ЭКГ» и предназначена для:

- автоматического расчёта момента нагрузки на стрелу;
- определения процента загрузки и статуса работы («норма», «предупреждение», «перегрузка»);
- генерации рекомендаций по оптимизации параметров работы;
- формирования отчётов в Microsoft Word.

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 экскаваторах (марка, тип, допустимый момент, масса);
- характеристики стрел (длина, масса);
- параметры ковшей (тип, вместимость, масса);
- свойства грунтов (плотность);
- категории породы (коэффициент динамики).

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 экскаватора,
- тип ковша,
- вид грунта,
- категорию породы,
- и вводит значения:
 - угла черпания,
 - коэффициента наполнения,
 - коэффициента разрыхления,
 - времени цикла.

После нажатия кнопки «Выполнить все расчёты» система:

1. Рассчитывает статический и динамический моменты нагрузки на стреле.
2. Сравнивает полученные значения с допустимыми.
3. Определяет процент загрузки и выводит статус:
 - «В норме» (до 80%)
 - «Предупреждение» (80 –100%)
 - «Перегрузка» (>100%)
4. Генерирует рекомендации по снижению нагрузки (например: «Снизьте угол черпания до 40°», «Используйте ковш меньшей вместимости»).
5. Предоставляет возможность сохранить результаты в виде документа Word.

Диаграмма деятельности процесса расчета нагрузки экскаватора представлена на рисунке 1.

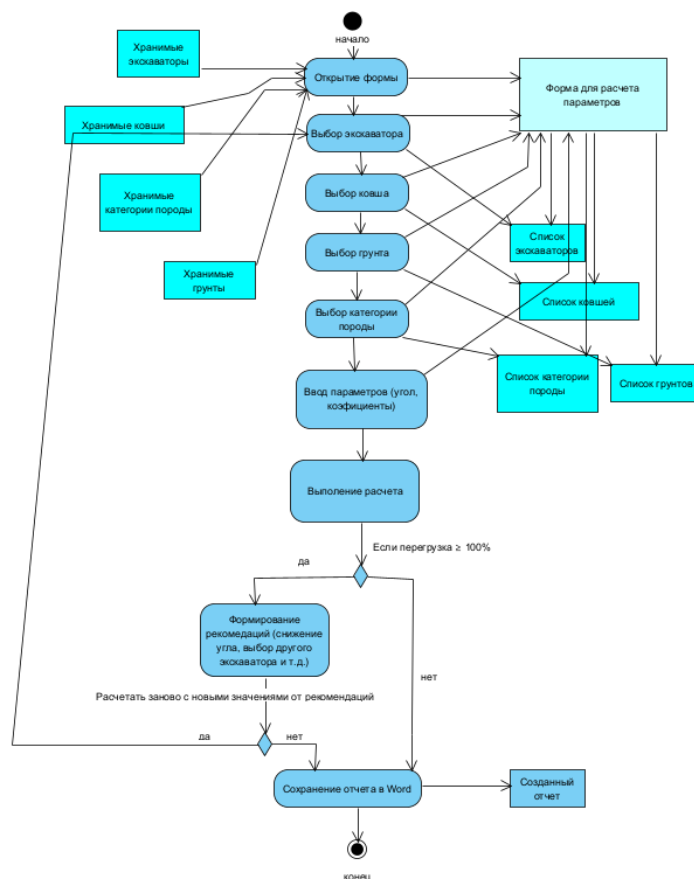


Рисунок 1 – Диаграмма деятельности процесса расчета нагрузки экскаватора.

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

1. Формирование отчёта – система агрегирует исходные данные (экскаватор, ковш, грунт, категория), введённые параметры и результаты расчёта (нагрузка, процент загрузки, статус, рекомендации)

2. Создание отчёта в Word – на основе собранных данных генерируется документ в формате .docx с цветовой индикацией статуса и структурированным списком рекомендаций.

3. Запись в журнал – после успешного сохранения файла система фиксирует событие в таблице ЖурналРасчётов (БД PostgreSQL): ID расчёта, дата, путь к файлу, статус операции.

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

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

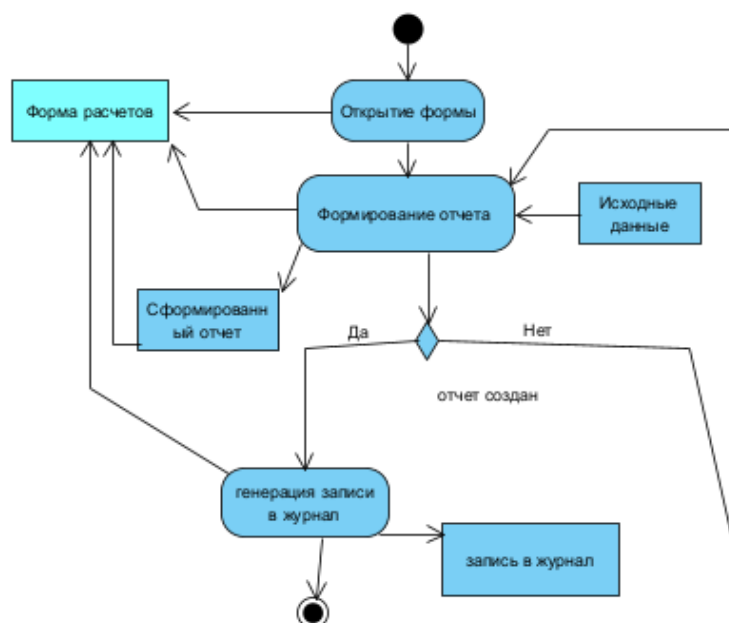


Рисунок 2 – Диаграмма деятельности процесса создания отчета после расчета.

Для начала необходимо разработать и настроить настольное приложение, реализующее функции расчёта нагрузки и производительности экскаваторов. 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.

Расчёт нагрузки и производительности ЭКГ

Экскаватор:	Hitachi ZX200 (Гусеничный)
Тип ковша:	Прямая лопата (11,0 м³)
Длина стрелы:	12,0 м
Масса стрелы:	7,50 т
Угол черпания:	45
Тип грунта:	Глина пластичная (2,1 т/м³)
Плотность грунта:	2,1
Масса груза:	23,10 т
Категория породы:	I – рыхлые
Козф. наполнения:	0,9
Козф. разрыхления:	1,2
Время цикла (с):	45

Выполнить все расчёты

Нагрузка на стрелу:

Процент загрузки:

Статус:

Производительность:

С учётом динамики:

Рекомендации:

Сохранить результаты в Word

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 может иметь вид оконного интерфейса, содержащего:

- поля выбора: экскаватор, ковш, грунт, категория породы,
- текстовые поля для ввода параметров: угол черпания, коэффициенты наполнения и разрыхления, время цикла,
- кнопку запуска расчёта,
- поле вывода рекомендаций,
- кнопку сохранения отчёта в Microsoft Word.

Для автоматического формирования документации используется библиотека Microsoft.Office.Interop.Word, позволяющая создавать, редактировать и сохранять файлы .docx без участия пользователя.

Программа работает на персональном компьютере оператора или технолога. При старте она автоматически подключается к локальной базе данных PostgreSQL, хранящей справочники оборудования, характеристик стрел, ковшей и грунтов.

После выполнения расчёта система анализирует процент загрузки и при необходимости формирует рекомендации по оптимизации режима работы. Чтобы обеспечить бесперебойную работу интерфейса, все тяжелые операции (расчёт, доступ к БД, экспорт в Word) выполняются в фоновых потоках, что предотвращает зависание формы.

Так как основные процессы – загрузка данных, выполнение расчёта и генерация отчёта – требуют времени, их выполнение выносится в отдельный поток при помощи конструкции `async/await` или `BackgroundWorker`. 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.

```
public partial class MainWindow : Window
{
    private string Строка_подключения = "Host=localhost;Username=postgres;Password=1234;Database=PraktikaVaneev;";
```

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:

экскаваторы, ковши, грунты, категории пород.

Выбор параметров и ввод значений – пользователь выбирает:

- марку экскаватора,
- тип ковша,
- вид грунта,
- категорию породы,
- и вводит:
 - угол черпания,
 - коэффициент наполнения,
 - коэффициент разрыхления,
 - время цикла.

При изменении выбора в `comboBox_Экскаватор` система автоматически:

- находит выбранную модель,
- загружает связанные данные (длину и массу стрелы),
- обновляет поля формы,
- вызывает событие `ВыбратьГрунт` для актуализации массы груза

Пример обработки события «Выбрать экскаватор» показан на рисунке

5.

```
private void ВыбратьЭкскаватор(object sender, SelectionChangedEventArgs e)
{
    if (comboBox_Экскаватор.SelectedIndex < 0) return;

    var экс = Экскаваторы[comboBox_Экскаватор.SelectedIndex];
    var стрела = Стрелы.FirstOrDefault(s => s.КодЭкскаватора == экс.Код);

    // Обновляем стрелу
    if (стрела != null)
    {
        textBox_ДлинаСтрелы.Text = $"{стрела.ДлинаСтрелы:F1} м";
        textBox_МассаСтрелы.Text = $"{стрела.Масса:F2} т";
    }
    else
    {
        textBox_ДлинаСтрелы.Text = "-";
        textBox_МассаСтрелы.Text = "-";
    }

    // Обновляем ковши
    comboBox_Ковш.Items.Clear();
    var доступныеКовши = Ковши.Where(k => k.КодЭкскаватора == экс.Код).ToList();
    foreach (var ковш in доступныеКовши)
        comboBox_Ковш.Items.Add($"{ковш.ТипКовша} ({ковш.Вместимость:F1} м³)");

    if (comboBox_Ковш.Items.Count > 0)
        comboBox_Ковш.SelectedIndex = 0;
    else
        textBox_МассаГруза.Text = "-";

    ВыбратьГрунт(null, null);
}
```

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.

```
// --- Вывод ---
MessageBox.Show("Расчёт выполнен", "Успешно", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.None);
textBox_НагрузкаСтрела.Text = $"{общийМомент:F1} кН·м";
textBlock_ПроцентЗагрузки.Text = $"{процентЗагрузки:F1}%";
textBlock_Статус.Text = статус;
textBlock_Статус.Foreground = цвет;
textBox_Производительность.Text = $"{Fiskborn:F1} м³/ч";
textBox_ДинамическийМомент.Text = $"{моментСДинамикой:F1} кН·м";

// --- Сохранение ---
doc.SaveAs2(filePath);
wordApp.Visible = true;
MessageBox.Show($"Файл сохранён:\n{filePath}");
}
catch (Exception ex)
{
    MessageBox.Show($"Ошибка при сохранении:\n{ex.Message}\nТип исключения: {ex.GetType().Name}", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
}
```

Рисунок 6 – Вывод кнопок управления.

Тестирование проводилось на примере экскаватора Hitachi ZX210 с ковшом объёмом 1.1 м³ при работе с плотным грунтом ($\rho = 2.6 \text{ т/м}^3$). Были заданы различные значения угла черпания и коэффициентов наполнения. Система корректно рассчитала момент нагрузки, определила статус «Предупреждение» при угле 45° и сформировала рекомендации по снижению нагрузки.

Тестирование работы расчета и сохранения в Word показано на рисунке 7.

Параметр	Значение
Экскаватор:	Hitachi ZX210 (Гусеничный)
Тип ковша:	Прямая лопата (1,1 м³)
Длина стрелы:	11,2 м
Масса стрелы:	6,50 т
Угол черпания:	45
Тип грунта:	Скальный грунт (2,6 т/м³)
Плотность грунта:	2,6
Масса груза:	2,86 т
Категория породы:	III – скальные
Козф. наполнения:	0,9
Козф. разрыхления:	1,2
Время цикла (с):	45
Выполнить все расчёты	
Нагрузка на стрелу:	504,1 кН·м
Процент загрузки:	98,0%
Статус:	Предупреждение
Производительность:	79,2 м³/ч
С учётом динамики:	705,7 кН·м
Рекомендации:	— Для III категории пород рекомендуется толщина стружки 1,7–2,1 м³ (ваш ковш: 1,1 м³)
Сохранить результаты в Word	

Рисунок 7 – Тестирование настольного WPF приложения «Расчёт ЭКГ».

Благодаря внедрению системы «Расчёт ЭКГ»:

- Исключаются ручные вычисления и связанные с ними ошибки;
- Снижается вероятность перегрузок и поломок оборудования;
- Увеличивается межремонтный ресурс стрелы и ходовой части;
- Повышается производительность за счёт оптимального выбора

режимов;

- Обеспечивается стандартизация подхода к управлению ЭАК.

Тестирование системы проводилось на примере экскаватора Hitachi ZX210. При угле черпания 45° , плотности грунта $2,6 \text{ т/м}^3$ и коэффициенте наполнения 0,9 система выявила предупреждение (98%) и рекомендовала снизить угол до 30° . После коррекции 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-ekskavatorno-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).