

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА НА УБОРКЕ КУКУРУЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

### SIMULATION OF THE OPERATING TIME OF A HARVESTING AND TRANSPORT COMPLEX FOR MAIZE HARVESTING USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

**Ключевые слова:** кормозаготовка, транспортное обслуживание, кормоуборочные комбайны, время работы комбайна, математическое моделирование, Python 3, кукуруза, внутрихозяйственная логистика, уборочно-транспортный комплекс, библиотека tkinter.

Представлена модель расчёта времени работы уборочно-транспортного комплекса в поле при уборке кукурузы на силос, реализованная на языке программирования Python 3. В основу работы заложены эмпирические данные, полученные авторами при организации уборочно-транспортного процесса кукурузы на силос с использованием кормоуборочных комбайнов. За основные признаки, определяющие скорость и время уборки, приняты ширина жатки комбайна, площадь, урожайность и количество обслуживающих транспортных средств. По результатам работы выполнено построение тестовой модели для расчёта сроков проведения уборочных работ с учётом характеристик используемых технических средств. Описана методология расчётов, позволяющая учитывать различные технические параметры и условия, влияющие на эффективность работы кормоуборочных комбайнов при уборке кукурузы на силос. Также освещены этапы формирования модели, которая позволяет практически оценить время работы уборочных мероприятий с учётом характеристик используемых технических средств. Рассмотрены преимущества применения языка программирования Python 3 для решения частных задач в области кормозаготовки, таких как автоматизация процессов анализа данных и моделирования, что значительно повышает точность и скорость расчётов. Результаты исследования могут быть полезны как для агрономов и специалистов по кормозаготовке, так и для исследователей, занимающихся оптимизацией агротехнических процессов. Работа подчеркивает актуальность применения информационных технологий в сельском хозяйстве и открывает новые горизонты для дальнейших исследований в данной области. Была продемонстрирована возможность применения языка

программирования для оперативного решения частных задач из области кормозаготовки.

**Keywords:** forage harvesting, transport services, forage harvesters, combine harvester operation time, mathematical modeling, Python 3 programming language, maize, on-farm logistics, harvesting and transport complex, Tkinter library.

A model for calculating the operating time of a harvesting and transport complex in a field when harvesting maize for silage implemented in the Python 3 programming language is discussed. The research is based on empirical data obtained by the authors when organizing the harvesting and transport process of maize for silage using forage harvesters. The main features that determine the speed and time of harvesting are the harvester header width, area, yield and the number of servicing vehicles. Based on the results, a test model was built to calculate the timing of harvesting operations taking into account the characteristics of the technical means used. The calculation methodology is described which allows taking into account various technical parameters and conditions affecting the efficiency of forage harvesters when harvesting maize for silage. The stages of forming a model are also highlighted which allow practical estimation of the working time of harvesting operations taking into account the characteristics of the technical means used. The advantages of using the Python 3 programming language for solving specific tasks in the field of forage harvesting such as automating data analysis and modeling processes which significantly increases the accuracy and speed of calculations are considered. The research findings may be useful both for agronomists and specialists in forage harvesting, as well as for researchers involved in optimizing agrotechnical processes. The relevance of the use of information technology in agriculture is highlighted. The possibility of using a programming language for the operational solution of particular tasks in the field of forage harvesting was demonstrated.

**Галимов Руфан Рамильевич**, мл. научн. сотр., Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: rufangalimov@yandex.ru.

**Galimov Rufan Ramilevich**, Junior Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: rufangalimov@yandex.ru.

**Каличкин Владимир Климентьевич**, д.с.-х.н., гл. науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: vk.kalichkin@gmail.com.

**Галимова Екатерина Евгеньевна**, магистрант, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: kater-ina2013@yandex.ru.

**Kalichkin Vladimir Klimentevich**, Dr. Tech. Sci., Chief Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: vk.kalichkin@gmail.com.

**Galimova Ekaterina Evgenevna**, master's degree student, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: kater-ina2013@yandex.ru.

### Введение

В современном сельском хозяйстве техническое обеспечение играет всё более значительную роль, и уборочно-транспортные комплексы (УТК) занимают важное место в процессе заготовки кормов. Кормоуборочный комбайн (КК) выполняет самые энергоёмкие операции в технологическом процессе заготовки кормов из зеленой массы кукурузы. Процесс транспортировки силосуемой массы с поля к месту закладки на хранение является также затратной технологической операцией, поэтому от оптимального соотношения количества комбайнов и обслуживающих их транспортных средств (ТС) зависит эффективность всего технологического процесса. Нарушение агротехнических сроков закладки силосных хранилищ более чем на 4-5 дней может привести к снижению качества корма [1, 2].

С появлением и использованием высокопроизводительных КК отечественного и зарубежного производства в кормоуборочных технологиях возникла объективная необходимость в формировании УТК. Для эффективной работы УТК необходима информация об оптимальном сочетании количества КК и ТС [3]. С развитием информационных технологий и разработкой различных компьютерных программ, позволяющих обрабатывать большое количество данных с применением разнообразных математических методов, стало возможным решение задач по оптимизации использования технических средств [4]. Разработка подхода по оценке эффективности работы УТК позволит применять его в формализованном виде непосредственно как в существующих, так и разрабатываемых инструментах поддержки принятия решений для обеспечения научно обоснованного применения технологических средств [5, 6], в том числе с помощью имитационного моделирования [7].

Например, в работе [8] описан инструмент, который определяет порядок уборки кукурузы по рабочим участкам, минимизирующий расстояния, пройденные КК. Для управления маршру-

том КК использованы эвристический метод и генетический алгоритм. После составления графика уборки этот инструмент обеспечивает оптимальное количество ТС, задействованных на каждом поле, с целью минимизации общих затрат на цикл уборки силоса. Инструмент, приведенный в работе [9], состоит из комбинации двух моделей, имитационной и модели оптимизации на основе линейного программирования. Инструмент позволяет согласовать производительность КК с производительностью ТС.

Предыдущими исследованиями были выявлены основные проблемы, возникающие при уборке кукурузы на силос. К основным можно отнести частичное или полное отсутствие средств позиционирования, мониторинга и логистики ТС, использующихся в обслуживании КК, что приводит к простоям и дополнительным затратам [10]. Моделирование уборочно-транспортного процесса в среде AnyLogic по различным вариантам взаимодействия с обслуживающими ТС с использованием пространственного анализа в ГИС позволяет выбрать наиболее оптимальные маршруты и сроки начала уборочных работ по рабочим участкам и оптимизировать работу всего УТК [11]. Кроме того, прогнозирование мест и сроков замены ТС для погрузки сокращает время простоя КК на 30% и повышает производительность УТК на 25% за счет сокращения простоев [12].

Продолжением исследований может быть моделирование времени работы УТК, прежде всего КК. Так, в работе [13] было показано, что общая загрузка КК при уборке зеленой массы кормов составила 61% и зависела от наличия ТС. Доля общего рабочего времени, затраченного на холостой ход (использование на холостом ходу), составляла от 10 до 20% для ТС и от 18 до 23% для КК, что отражается на эффективности работы УТК и удлиняет время уборки. Важно знать эти параметры, которые можно выяснить с помощью тестовой модели на основе математических формул по расчету сроков проведения

уборочных работ и учете технических характеристик УТК на конкретном производственном примере.

**Цель** исследований – разработать приложение по расчету времени работы УТК при уборке зеленой массы кукурузы на силос на языке программирования Python.

### Материалы и методы

В основу работы заложены материалы наблюдений за уборочно-транспортными процессами при уборке КК кукурузы на силос в ОС «Элитная» – филиал СФНЦА РАН, расположенного в центральной лесостепи Приобья (Новосибирская область) (54°54'57" с.ш., 82°57'6" в.д.). Используются данные собственных наблюдений (данные логистики и позиционирования), а также материалы, предоставленные предприятием, включая информацию о машинно-тракторном парке, маршруты обслуживающих ТС, характеристики рабочих участков (площадь возделываемой культуры и ее урожайность). В ходе работы учитывались как категориальные факторы: КК, ТС, культура, так и количественные показатели: производительность КК, урожайность культуры, площадь участка, скорость движения КК, расстояние перевозки, конструктивная ширина захвата КК и объем кузова ТС.

В рамках данной работы были реализованы следующие **задачи**:

- создание нового проекта в PyCharm. Для этого выбирался соответствующий пункт меню в PyCharm и указывалось имя проекта;

- настройка среды разработки для использования Python 3.11. Для этого выбиралась соответствующая версия Python в настройках проекта;

- создание новых модулей и функций на языке Python. Для этого писался код на языке Python и сохранялся в файле с расширением .py;

- написание алгоритма. Алгоритм представляет собой последовательность действий, которые необходимо выполнить для решения задачи, разработан на языке программирования Python 3. Исходные данные, такие как урожайность кукурузы, модель КК, количество используемых КК, расстояние перевозки, коэффициент использования времени смены, конструктивная

ширина захвата уборочной машины и обслуживающие ТС, задаются пользователем перед началом расчетов в командной строке.

В основу модели был заложен принцип математических вычислений для определения времени уборочных работ на поле. Для реализации модели уборочно-транспортного процесса (УТП) использовали математические формулы, которые позволяют рассчитать необходимые параметры. В качестве ТС использовали грузовые автомобили и тракторы с прицепами с грузоподъемностью 6 и 7 т, при скорости КК в 10-15 км/ч. В качестве примера были взяты КК ЯГУАР-810 и обслуживающие ТС КАМАЗ 55111, МТЗ-1221 + 2ПТС-9, МТЗ-1221 + 2ПТС-9, ГАЗ 3509 и КАМАЗ 55111.

Расчет времени уборки рабочего участка:

$$T = \left( \frac{S}{\omega_{\text{см}}} \right) * k * \frac{W_{\text{ТР}}^{\text{ч}}}{60 * \frac{L_{\text{ТР}}}{V_{\text{ср}}}},$$

где  $T$  – время уборки рабочего участка;

$S$  – площадь рабочего участка;

$\omega_{\text{см}}$  – производительность одного КК;

$k$  – количество КК;

$W_{\text{ТР}}^{\text{ч}}$  – производительность ТС;

$L_{\text{ТР}}$  – расстояние до места силосования;

$V_{\text{ср}}$  – скорость ТС.

Производительность КК равна, га/ч:

$$\omega_{\text{см}} = B_p * V_p * \tau * U_c,$$

где  $B_p$  – рабочая ширина захвата жатки КК, м;

$V_p$  – рабочая скорость КК, м/с;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены;

$U_c$  – урожайность силосной массы, кг/м<sup>2</sup>;

$\tau = 0,65-0,70$ .

Производительности ТС П ( $W_{\text{ТР}}^{\text{ч}}$ ):

$$W_{\text{ТР}}^{\text{ч}} = \frac{Q * V_{\text{ср}}}{L_{\text{ТР}}} * \tau_V * \tau_T,$$

где  $Q$  – грузоподъемность ТС, т.  $Q = V_{\text{куз}}$ ;

$V_{\text{куз}}$  – объем кузова, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – объемная масса перевозимого груза, т/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения ТС, км/ч;

$\tau_V$  – коэффициент использования скорости движения. Для трактора тягового класса 14 кН,  $\tau_V = 0,77$ ;

$\tau_T$  – коэффициент использования времени смены,  $\tau_T = 0,7$ ;

$L_{тр}$  – расстояние грузоперевозки (расстояние от поля до траншеи со взвешиванием и обратно), км.

Время рейса транспортного агрегата, ч:

$$t_p = t_{з.к.} + t_{дв.} + t_{разгр.},$$

где  $t_{з.к.}$  – время загрузки кузова транспортного агрегата, ч;

$t_{дв.}$  – время движения с грузом и обратно, ч;

$t_{разгр.}$  – время взвешивания и разгрузки, ч (5-6 мин.).

$$t_{дв.} = \frac{2 * S}{V_{ср}},$$

где  $S$  – расстояние перевозки силосной массы, км;

$V_{ср}$  – средняя техническая скорость транспортного агрегата, км/ч.

$$t_{з.к.} = \frac{10 * V * p_M * \lambda}{B_p * V_{ср} * y},$$

где  $V$  – емкость кузова, м<sup>3</sup>;

$p_M$  – плотность груза, т/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент использования емкости кузова ( $\lambda=0,9-0,95$ );

$y$  – урожайность зеленой массы, т/га.

Эмпирические данные собраны с помощью (GPS навигатор, секундомер).

Алгоритм расчета времени КК реализован на языке программирования Python версии 3.11, в интегрированной среде разработки PyCharm версии 5.0.4 для разработки на Python. Дополнительные графические построения и математические вычисления выполнены в PyCharm с использованием библиотеки tkinter для создания графического интерфейса пользователя (GUI), подмодуль библиотеки tkinter messagebox, предоставляющий функции для создания диалоговых окон с сообщениями, библиотека pandas для работы с данными и аналитики и библиотека xlwt для создания и редактирования файлов Microsoft Excel формата .xls.

### Результаты и обсуждение

Для создания модели и определения продолжительности времени уборочных работ как по конкретным участкам, так и за весь период уборочных работ по всем участкам был разработан алгоритм, включающий следующие шаги:

1) расчет рабочей ширины захвата КК с учетом коэффициента использования конструктивной ширины захвата жатки;

2) расчет рабочей скорости движения КК с учетом пропускной способности, коэффициента

уменьшения пропускной способности, рабочей ширины захвата и урожайности кукурузы;

3) расчет производительности КК за один час времени смены с учетом рабочей скорости движения, рабочей ширины захвата, урожайности кукурузы и коэффициента использования времени смены;

4) расчет времени заполнения кузова ТС с учетом работы КК, плотности материала, коэффициента использования объема бункера ТС и производительности КК;

5) расчет времени движения ТС с учетом расстояния перевозки и средней технической скорости движения ТС;

6) расчет времени цикла ТС с учетом времени заполнения кузова, времени движения, времени разгрузки и времени простоев.

Алгоритм выводит планируемое время уборки как по рабочим участкам (время начала уборки и время конца уборки), так и за весь период уборочных работ по всем участкам в сумме.

Алгоритм транспортного обслуживания КК на поле включает в себя оптимизацию процессов перемещения комбайнов, доступ к рабочим участкам, загрузку урожая и транспортировку по маршруту. Данная модель предполагает использование методов управления процессами таким образом, чтобы обеспечивать максимальную производительность и эффективность УТП.

Модель основана на методе математических формул, который предполагает использование коэффициентов и технических параметров КК и ТС.

Входные параметры модели для расчета времени работы КК на рабочем участка:

- урожайность кукурузы, т/га;
- количество КК, шт.;
- расстояние перевозки, км;
- конструктивная ширина захвата, м;
- площадь рабочего участка, га;
- производительность КК, т/га;
- скорость движения ТС, км/ч.

Для расчета времени уборки алгоритм сначала рассчитывает такие параметры, как:

- рабочая ширина захвата КК, м;
- рабочая скорость движения КК, км/час;
- производительность одного КК за один час времени смены, т/час;
- время перевозки для всех ТС, час;
- время уборочных работ на поле, час.

Ниже приведен код модели расчета времени работы КК при уборке кукурузы на силос:

```
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
import pandas as pd
from xlwt import Workbook
# Создаем книгу Excel
wb = Workbook()
# Создаем новый лист в книге
ws = wb.add_sheet('Sheet1', cell_overwrite_ok=True)
# Функция для расчета времени уборки кукурузы
def calculate_time():
    # Получаем значения из полей ввода
    num_combines = int(combine_number_entry.get())
    num_transport_vehicles = int(vehicle_number_entry.get())
    yield_per_hectare = float(yield_entry.get())
    transport_distance = float(transport_distance_entry.get())
    field_area = float(field_area_entry.get())
    header_width = float(combine_width_entry.get())
    combine_capacity = float(combine_capacity_entry.get())
    transport_speed = float(transport_speed_entry.get())
    # Записываем данные в ячейки
    ws.write(0, 0, 'Количество комбайнов')
    ws.write(0, 1, num_combines)
    ws.write(1, 0, 'Количество транспорта')
    ws.write(1, 1, num_transport_vehicles)
    ws.write(2, 0, 'Прогнозируемая урожайность, т/га')
    ws.write(2, 1, yield_per_hectare)
    ws.write(3, 0, 'Расстояние транспортировки, км')
    ws.write(3, 1, transport_distance)
    ws.write(4, 0, 'Площадь поля, га')
    ws.write(4, 1, field_area)
    ws.write(5, 0, 'Ширина захвата, м')
    ws.write(5, 1, header_width)
    ws.write(6, 0, 'Производительность комбайна, т/га')
    ws.write(6, 1, combine_capacity)
    # Расчет времени уборки
    total_yield = field_area * yield_per_hectare
    total_time = 0
    total_work_time = 0
    for i in range(num_combines):
        # Рабочая ширина захвата (м)
        Коэффициент_использования_ширины = 0.95
        working_width = header_width * Коэффициент_использования_ширины
        combine_capacity_per_hour = (working_width * field_area) / combine_capacity
        combine_utilization_factor = 0.8 # Фактор загрузки комбайна
        combine_efficiency = combine_capacity_per_hour * combine_utilization_factor
        combine_transport_time = transport_distance / transport_speed
        combine_harvest_time = total_yield / (combine_efficiency * num_combines) + combine_transport_time
        total_time = max(total_time, combine_harvest_time)
    # Рассчитываем время перевозки для всех транспортных средств
    transport_capacity = 25 # Вместимость каждого транспортного средства
    total_transport_capacity = num_transport_vehicles * transport_capacity
    total_transport_time = 0.1 + 0.33 + 0.1
```

```
total_time += total_transport_time
# Выводим результат
result_label['text'] = f'Общее время уборки: {total_time:.2f} часов'
# Записываем результаты в ячейки
ws.write(7, 0, "Время уборки, ч")
ws.write(7, 1, str(total_time))
wb.save('output.xls')
# Создание окна приложения
root = tk.Tk()
root.title("Расчет времени уборки кукурузы")
# Создание полей ввода данных
combine_number_label = tk.Label(root, text="Количество комбайнов:")
combine_number_entry = tk.Entry(root)
vehicle_number_label = tk.Label(root, text="Количество транспортных средств:")
vehicle_number_entry = tk.Entry(root)
yield_label = tk.Label(root, text="Урожайность кукурузы (т/га):")
yield_entry = tk.Entry(root)
transport_distance_label = tk.Label(root, text="Расстояние перевозки (км):")
transport_distance_entry = tk.Entry(root)
field_area_label = tk.Label(root, text="Площадь поля (га):")
field_area_entry = tk.Entry(root)
combine_width_label = tk.Label(root, text="Ширина захвата жатки комбайна (м):")
combine_width_entry = tk.Entry(root)
combine_capacity_label = tk.Label(root, text="Пропускная способность комбайна (т/ч):")
combine_capacity_entry = tk.Entry(root)
transport_speed_label = tk.Label(root, text="Скорость транспортных средств (км/ч):")
transport_speed_entry = tk.Entry(root)
calculate_button = tk.Button(root, text="Рассчитать", command=calculate_time)
result_label = tk.Label(root)
# Размещение элементов на экране
combine_number_label.grid(row=0, column=0)
combine_number_entry.grid(row=0, column=1)
vehicle_number_label.grid(row=1, column=0)
vehicle_number_entry.grid(row=1, column=1)
yield_label.grid(row=2, column=0)
yield_entry.grid(row=2, column=1)
transport_distance_label.grid(row=3, column=0)
transport_distance_entry.grid(row=3, column=1)
field_area_label.grid(row=4, column=0)
field_area_entry.grid(row=4, column=1)
combine_width_label.grid(row=5, column=0)
combine_width_entry.grid(row=5, column=1)
combine_capacity_label.grid(row=6, column=0)
combine_capacity_entry.grid(row=6, column=1)
transport_speed_label.grid(row=7, column=0)
transport_speed_entry.grid(row=7, column=1)
calculate_button.grid(row=8, column=0, columnspan=2)
result_label.grid(row=9, column=0, columnspan=2)
root.mainloop()
Расчет производится следующим образом:
- производительность КК за час = (рабочая ширина x площадь поля) / производительность КК;
- коэффициент использования КК = 0,8;
```

- эффективность КК = производительность КК за час x коэффициент использования КК;
- время транспортировки = расстояние транспортировки / скорость ТС;
- время уборки урожая = общий урожай / (эффективность КК x количество КК) + время транспортировки.

# Рассчитываем время перевозки для всех ТС:

- транспортная вместимость = 25 (вместимость каждого ТС, м<sup>3</sup>);
- общая транспортная вместимость = количество ТС x транспортная вместимость;
- общее время транспортировки = время загрузки ТС + время движения ТС с грузом и обратно + время взвешивания и разгрузки.

В коде используются библиотеки pandas и xlwt для работы с данными и создания файла Excel, в которую записываются значения, которые вводит пользователь, и конечный результат общего времени уборки на рабочем участке.

В начале программы пользователь вводит исходные данные, такие как урожайность кукурузы, модель КК, количество КК, расстояние перевозки, конструктивная ширина захвата КК, пропускная способность КК.

Затем программа рассчитывает рабочую ширину захвата КК, рабочую скорость движения, производительность КК за один час времени смены, время заполнения кузова ТС и время его движения.

На рисунке 1 приведен пример работы приложения, где введены входные данные и выведен результат общего времени уборки на рабочем участке.

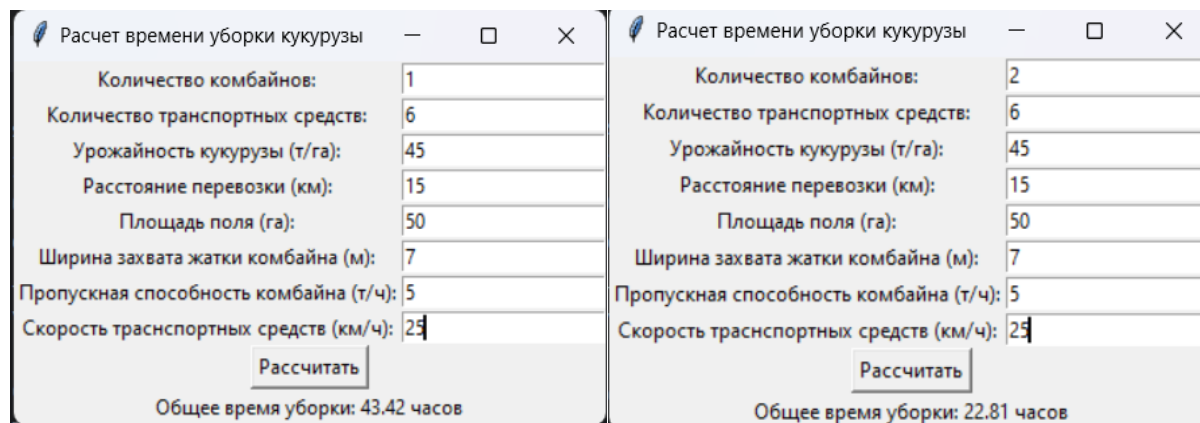


Рис. 1. Диалоговые окна с сообщениями модели по расчету времени уборочных работ на поле с введенными входными данными и результатом расчета

С помощью функции write данные записываются в ячейки листа Excel. После этого с помощью переменной print\_result выводится результат работы функции print. Затем с помощью функции write эта переменная записывается в определенную ячейку листа Excel (рис. 2). Данные также сохраняются в файле Excel под названием 'output.xls'.

Отметим, что данная модель является в некоторой степени упрощенной и не учитывает все возможные факторы, которые могут влиять на процесс уборки урожая, например, время простоя из-за неблагоприятных погодных условий, поломки КК и ТС и др. Однако этот инструмент поможет агроному-технологу осуществить разработку плана уборки кукурузы на силос, составить ее график по рабочим участкам, опреде-

лить количество КК и ТС, что в конечном итоге скажется на сроках заготовки силоса и его качестве.

Количество комбайнов	2
Количество транспорта	6
Прогнозируемая урожайность, т/га	45
Расстояние транспортировки, км	15
Площадь поля, га	50
Ширина захвата, м	7
Производительность комбайна, т/га	5
Время уборки, ч	22.806616541353385

Рис. 2. Сохраненные результаты работы кода в файле Excel

### Заключение

В ходе исследования был разработан алгоритм, на основе которого было создано приложение по моделированию времени работы УТК

на уборке кукурузы с использованием языка программирования Python. В процессе изучения данных наблюдений за уборочно-транспортными процессами при уборке кукурузы на силос с применением КК в ОС «Элитная» – филиал СФНЦА РАН, расположенного в лесостепной зоне Новосибирской области, были выявлены ключевые параметры, влияющие на эффективность уборочных работ. Это дало возможность создать приложение, содержащее информацию о различных сценариях работы техники и характеристиках КК.

Представленный шаблон тестовой модели на основе математических формул для расчёта сроков проведения уборочных работ на поле при уборке кукурузы на силос с учётом технических характеристик, используемых УТК, стал важным инструментом для формализации знаний по частным задачам сельскохозяйственного производства. Это приложение способно значительно упростить процесс анализа и принятия решений, обеспечивая пользователей необходимыми данными о времени, затрачиваемом на выполнение различных операций.

Авторы считают перспективным внедрение этого кода во фреймворк Django для создания веб-приложений. Использование Django позволит эффективно разрабатывать интуитивно понятные интерфейсы, облегчающие взаимодействие пользователей с приложением. Благодаря встроенным инструментам фреймворка, пользователи смогут автоматизировать создание структуры проекта, что приведёт к более быстрой и менее затратной разработке. Кроме того, Django предоставляет возможность создавать многофункциональные приложения с использованием базы данных, что откроет новые возможности для дальнейшего анализа и обработки данных.

В будущем планируется расширение функциональности приложения, включая интеграцию с системами мониторинга в реальном времени для учета погодных условий и состояния полей. Это позволит более точно прогнозировать сроки уборки и оптимизировать пути загрузки и транспортировки кукурузы. Результаты исследований могут быть интересны как для научного сообщества, так и для практиков сельского хозяйства.

### Библиографический список

1. Валге, А. М. Формирование уборочно-транспортного комплекса для заготовки силоса / А. М. Валге, Э. А. Папушин, А. И. Сухопаров. – Текст: непосредственный // *АгроЭкоИнженерия*. – 2021. – № 1 (106). – С. 70-82.
2. Valge, A., Sukhoparov, A., Perekopskiy, A. (2021). Optimization of transport support for forage harvesters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 941. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/941/1/012021.
3. Iovlev, G., Sahakyan, M., Nesgovorov, A., et al. (2022). Optimization of the harvesting and transport complex work in forage conservation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 949. 012028. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012028.
4. Валге, А. М. Оценка эффективности работы кормоуборочных комбайнов в зависимости от урожайности травы / А. М. Валге, А. И. Сухопаров, Э. А. Папушин. – DOI 10.24411/0131-5226-2020-10252. – Текст: непосредственный // *АгроЭкоИнженерия*. – 2020. – № 3 (104). – С. 39-48.
5. Иовлев, Г. А. Формирование уборочно-транспортного комплекса на заготовке сенажа / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина. – Текст: непосредственный // *Научно-технический вестник: технические системы в АПК*. – 2021. – № 3 (11). – С. 4-19.
6. Иовлев, Г. А. Технологическое обеспечение уборки силосных культур / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина, А. Г. Несговоров. – Текст: непосредственный // *Научно-технический вестник: технические системы в АПК*. – 2023. – № 2 (18). – С. 40-53.
7. Курочкин, В. Н. Управление эффективностью уборочно-транспортного процесса согласованием производительностей его фаз с применением цифровой модели / В. Н. Курочкин. – Текст: непосредственный // *Вестник аграрной науки Дона*. – 2019. – Т. 2, № 46. – С. 29-36.
8. Amiama, C., Cascudo, N., Carpenente, L., et al. (2015). A decision tool for maize silage harvest operations. *Biosystems Engineering*. 134. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.04.004>.
9. Busato, P., Sopegno, A., Pampuro, N., et al. (2019). Optimisation tool for logistics operations in silage production. *Biosystems Engineering*. 180. 146-160. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.008>.



10. Оценка эффективности работы транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов при уборке кукурузы на силос в условиях Новосибирской области / Р. Р. Галимов, К. Ю. Максимович, В. В. Тихановский [и др.]. – DOI 10.31992/0321-4443-2021-1-73-80. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – № 1. – С. 73-80.

11. Модель сбора урожая в инструменте моделирования ANYLOGIC / Р. Р. Галимов, В. В. Тихановский, Л. В. Гарафутдинова [и др.]. – Текст: непосредственный // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 6. – С. 324-332.

12. Galimov, R., Tikhonovskiy, V., Blynskiy, Y., et al. (2024). Study of the efficiency of the transport support of forage harvesters when harvesting corn for silage in the conditions forest-steppe zone. *E3S Web of Conferences*. 486. DOI: 10.1051/e3sconf/202448606002.

13. Harmon, J., Luck, B., Shinnors, K., et al. (2018). Time-Motion Analysis of Forage Harvest: A Case Study. *Transactions of the ASABE*. 61. 483-491. DOI: 10.13031/trans.12484.

### References

1. Valge A.M., Papushin E.A., Sukhoparov A.I. Formirovanie uborochno-transportnogo kompleksa dlya zagotovki silosa // *AgroEkolnzheneriya*. 2021. No 1 (106). S. 70-82.

2. Valge, A., Sukhoparov, A., Perekopskiy, A. (2021). Optimization of transport support for forage harvesters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 941. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/941/1/012021.

3. Iovlev, G., Sahakyan, M., Nesgovorov, A., et al. (2022). Optimization of the harvesting and transport complex work in forage conservation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 949. 012028. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012028.

4. Valge A.M., Sukhoparov A.I., Papushin E.A. Otsenka effektivnosti raboty kormouborochnykh kombaynov v zavisimosti ot urozhaynosti travy // *AgroEkolnzheneriya*. 2020. No. 3 (104). S. 39-48. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10252.

5. Iovlev G.A., Goldina I.I. Formirovanie uborochno-transportnogo kompleksa na zagotovke senazha // *Nauchno-tehnicheskii vestnik: Tekhnicheskie sistemy v APK*. 2021. No. 3 (11). S. 4-19.

6. Iovlev G.A., Goldina I.I., Nesgovorov A.G. Tekhnologicheskoe obespechenie uborki silosnykh kultur // *Nauchno-tehnicheskii vestnik: Tekhnicheskie sistemy v APK*. 2023. No. 2 (18). S. 40-53.

7. Kurochkin V.N. Upravlenie effektivnostyu uborochno-transportnogo protsessa soglasovaniem proizvoditelnostey ego faz s primeneniem tsifrovoy modeli // *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2019. T. 2. No. 46. S. 29-36.

8. Amiama, C., Cascudo, N., Carpenete, L., et al. (2015). A decision tool for maize silage harvest operations. *Biosystems Engineering*. 134. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.04.004>.

9. Busato, P., Sopegno, A., Pampuro, N., et al. (2019). Optimisation tool for logistics operations in silage production. *Biosystems Engineering*. 180. 146-160. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.008>.

10. Galimov R.R., Maksimovich K.Yu., Tikhonovskiy V.V. i dr. Otsenka effektivnosti raboty transportnogo obsluzhivaniya kormouborochnykh kombaynov pri uborke kukuruzy na silos v usloviyakh Novosibirskoy oblasti // *Traktory i selkhoz-mashiny*. 2021. No. 1. S. 73-80. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-73-80.

11. Galimov R.R., Tikhonovskiy V.V., Gara-futdinova L.V. i dr. Model sbora urozhaya v instrumente modelirovaniya ANYLOGIC // *Yuzhno-Sibirskiy nauchnyy vestnik*. 2022. No. 6. S. 324-332.

12. Galimov, R., Tikhonovskiy, V., Blynskiy, Y., et al. (2024). Study of the efficiency of the transport support of forage harvesters when harvesting corn for silage in the conditions forest-steppe zone. *E3S Web of Conferences*. 486. DOI: 10.1051/e3sconf/202448606002.

13. Harmon, J., Luck, B., Shinnors, K., et al. (2018). Time-Motion Analysis of Forage Harvest: A Case Study. *Transactions of the ASABE*. 61. 483-491. DOI: 10.13031/trans.12484.

