УДК 631.372:004.4

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

АРХИТЕКТУРА И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С КОМБИНИРОВАННЫМ ПОСЕВНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Севостьянов Александр Леонидович
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код РИНЦ: 8675-3876
ORCID: 0000-0001-8555-5678
e-mail: sewostya@list.ru
Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», г. Орёл, Российская Федерация

Представлено специализированное настольное программное обеспечение для расчётной энергетической оценки силовой установки машинно-тракторного агрегата, применяемого с комбинированным посевным комплексом в технологии полосового посева. Цель работы — формализовать назначение, архитектуру и вычислительный алгоритм программы, а также проверить согласованность сформированного ею набора результатов с исходным листингом. По идентифицирующим материалам восстановлена последовательность обработки данных: ввод номинальной эффективной мощности, часового расхода топлива и частоты вращения; выбор типа камеры сгорания; задание параметров регулятора и холостого хода; расчёт частоты вращения, крутящего момента, мощности, часового и удельного расхода топлива; табличный вывод и экспорт в формат XLSX. Архитектура включает интерфейсный, расчётный, табличный и экспортный компоненты. Независимая проверка контрольного набора из 16 строк подтвердила значения мощности, расходов топлива и частоты вращения с точностью до 0,001; максимальное расхождение по крутящему моменту составило 0,005 Н·м и обусловлено форматом округления. Установлено, что представленный листинг формирует внешнюю скоростную характеристику, тогда как независимое варьирование нагрузки не реализовано. Определены ограничения, связанные с отсутствием диапазонного контроля входных данных, фиксированным шагом расчёта и фиксированным именем экспортного файла

Ключевые слова: МАШИННО-ТРАКТОРНЫЙ АГРЕГАТ; ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА; ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ; СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА; УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА; PYTHON; PYQT5

http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-222-027

Работа выполнена в рамках государственного задания

UDC 631.372:004.4

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

ARCHITECTURE AND ALGORITHMIC SUPPORT OF SOFTWARE FOR ENERGY ASSESSMENT OF A MACHINE-TRACTOR UNIT WITH A COMBINED SEEDING COMPLEX

Sevostyanov Alexander Leonidovich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
RSCI SPIN code: 8675-3876
ORCID: 0000-0001-8555-5678
*Orel State Agrarian University named after N. V. Parakhin", Orel, Russian Federation
Russian Federation*

The article presents specialized desktop software for calculation-based energy assessment of the power unit of a machine-tractor unit used with a combined seeding complex in strip-tillage technology. The study aims to formalize the software purpose, architecture, and computational algorithm and to verify the consistency of the generated result set with the source listing. The documented workflow includes entering rated effective power, hourly fuel consumption, and crankshaft speed; selecting the combustion chamber type; setting governor and idle parameters; calculating speed, torque, power, hourly fuel consumption, and specific fuel consumption; displaying the results in a table; and exporting them to XLSX. The reconstructed architecture comprises user-interface, calculation, table-presentation, and export components. Independent verification of the 16-row control dataset confirmed the power, fuel-consumption, and speed values within 0.001; the maximum torque discrepancy was 0.005 N·m and resulted from output rounding. The source code actually generates an external speed characteristic, while independent load variation is not implemented. The identified limitations include missing range validation, a fixed calculation step, and a fixed export filename

Keywords: MACHINE-TRACTOR UNIT; ENERGY ASSESSMENT; DIESEL ENGINE; SPEED CHARACTERISTIC; SPECIFIC FUEL CONSUMPTION; PYTHON; PYQT5

The study was carried out within State Assignment

FEEF-2026-0003 «Разработка технологии полосовой обработки почвы для повышения эффективности агросистем точного земледелия».

FEEF-2026-0003 “Development of strip tillage technology to improve the efficiency of precision farming agrosystems”.

Введение

Объектом исследования является зарегистрированная программа для ЭВМ, предназначенная для энергетической оценки машинно-тракторного агрегата с комбинированным посевным комплексом [1]. Полосовая обработка почвы, с совмещением операций, предполагает применение специализированных комбинированных агрегатов. В технологии strip-till обрабатывается зона будущего рядка, рыхление почвы при этом сочетаться с внесением удобрений и последующим посевом [2]. Расход топлива полосового орудия зависит прежде всего от рабочей скорости и глубины обработки [3]. Поэтому предварительное определение доступной мощности, крутящего момента и топливных показателей необходимо для инженерного согласования трактора и рабочего комплекса.

Расчётные программные средства для машинно-тракторных агрегатов развиваются по двум основным направлениям. Первое объединяет модели тягового сопротивления, буксования, мощности и расхода топлива с инструментальными измерениями; примером служит программно-измерительная система энергетического картирования тракторно-орудийного агрегата [4]. Второе направление использует имитационные модели двигателя и трансмиссии для оценки топливной экономичности на различных режимах [5, 6]. Общим условием достоверности таких решений является явное описание входных данных, формул, диапазона применимости и способа верификации.

Разработанный программный продукт производит автоматизированный расчёт характеристик силовой энергетической установки, эффективного крутящего момента, табличное представление и экспорт результатов [1].

Цель работы - провести функциональную проверку назначения, архитектуры и алгоритмов программного обеспечения. Научно-методическая новизна анализа состоит в исходном листинге как формализованного потока данных, в записи вычислительных зависимостей в единой безразмерной форме и в количественной проверке экспортированной таблицы.

Материалы и методы

Материалами исследования послужили официальный источник регистрации программы, идентифицирующие материалы с описанием, схемой алгоритма, листингом Python и экранными формами, исполняемый файл Windows, снимок интерфейса и экспортированная книга XLSX. Официальный источник подтверждает автора, заявителя, даты регистрации и публикации и название разработки [1]. Идентифицирующие материалы раскрывают интерфейс, расчётный обработчик и экспорт [1]. Размер исполняемого файла составляет 66 556 171 байт, что соответствует документации; анализ ограничен листингом и предоставленными результатами.

Метод исследования включал статический анализ исходного текста, декомпозицию функций, математических зависимостей и независимый повторный расчёт контрольной таблицы. Для каждого выходного параметра сопоставлялись формула, промежуточное округление и значение в XLSX; проверены 16 строк и пять столбцов. Внешние публикации использовались для контекста: модели двигателей связывают расход топлива с частотой и моментом [7, 8], а имитационные модели требуют экспериментальной валидации [6, 9].

Таблица 1 - Функциональные компоненты программного обеспечения

Компонент	Назначение	Вход	Выход	Подтверждение
Интерфейс ввода	Приём номинальных параметров и коэффициентов	N_eном, Gтном, nном, δр, kx.x., тип камеры	Строковые значения для расчёта	QLineEdit, QComboBox
Модуль коэффициентов	Выбор пары a, b по типу камеры сгорания	Выбранный пункт списка	a и b	currentData()
Расчётный модуль	Формирование 16 точек скоростной характеристики	Номинальные параметры и коэффициенты	n, M_e, N_e, Gт, g_e	the_button_was_clicked()
Табличное представление	Отображение результатов по строкам	Расчётные значения	Таблица 16×5	QTableWidget
Экспортный модуль	Преобразование таблицы в DataFrame и запись XLSX	Содержимое QTableWidget	Файл «Расчет характеристик до трех знаков2.xlsx»	pandas, XlsxWriter

Технологическая реализация соответствует настольному приложению. Python используется как язык прикладной логики [10], PyQt5 - для графического интерфейса [11]. Табличные результаты собираются в DataFrame и записываются в XLSX средствами pandas и XlsxWriter [1]. База данных, сетевой обмен, облачные сервисы и отдельное долговременное хранилище отсутствуют.



Рисунок 1 - Архитектура и поток данных программы
Figure 1 — Software architecture and data flow

Пользовательский сценарий рассчитан на одного оператора. После запуска открывается окно с полями эффективной мощности, часового расхода топлива и номинальной частоты вращения коленчатого вала. Дополнительно выбирается тип камеры сгорания и задаются параметры регулятора и холостого хода. Кнопка «Рассчитать» заполняет таблицу, а «Экспортировать» формирует XLSX-файл. Экранная форма до ввода данных приведена на рисунке 2 и соответствует листингу.

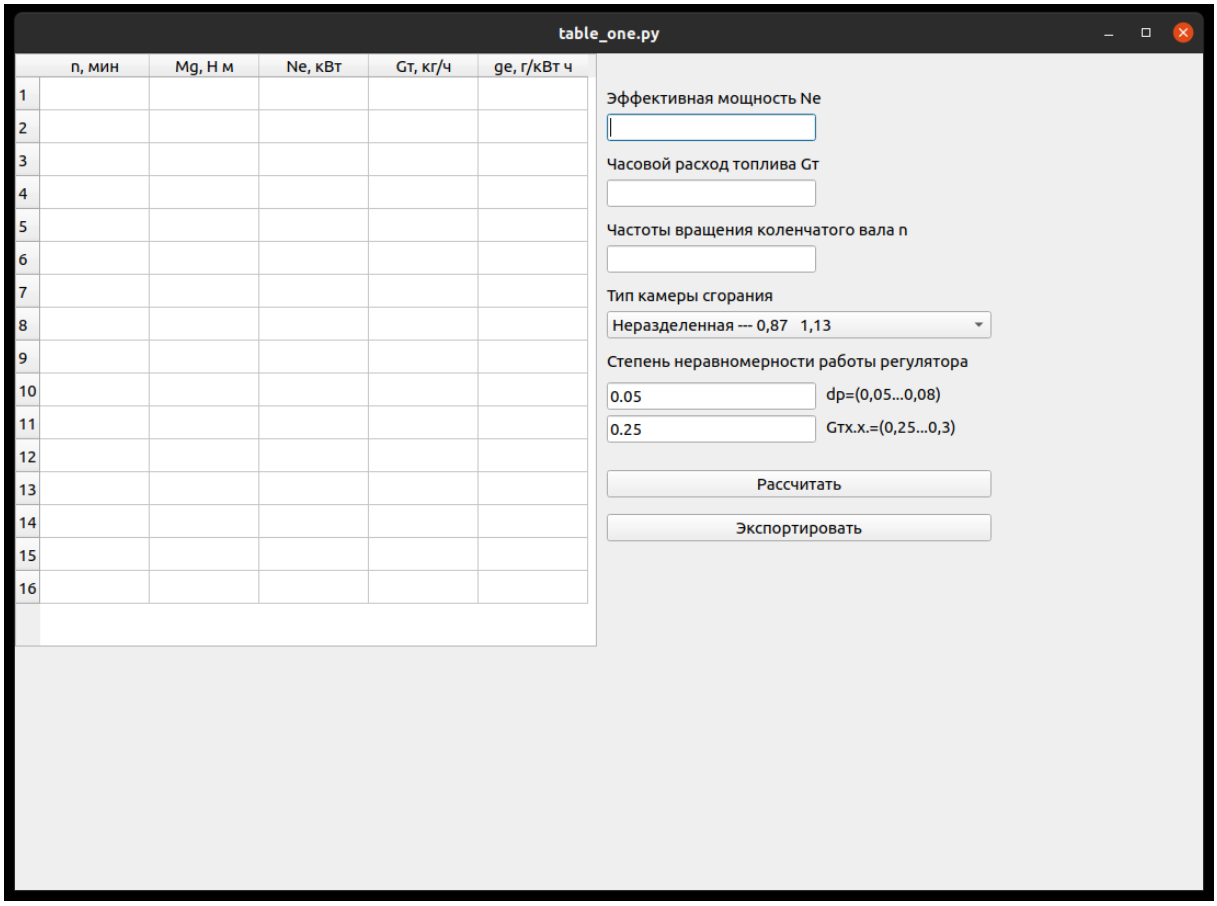


Рисунок 2 - Экранная форма программы до ввода исходных данных

Figure 2 — Software screen before entering input data

Входные параметры образуют компактную расчётную модель. Номинальные мощность N_eном, расход Gтном и частота nном задают базовую точку. Степень неравномерности регулятора δp используется только для определения частоты холостого хода, а коэффициент kx.x. - для расчёта часового расхода топлива без нагрузки. Тип камеры сгорания

задаёт пару коэффициентов a и b полинома мощности. В интерфейсе приведены рекомендуемые диапазоны δр = 0,05–0,08 и kx.x. = 0,25–0,30.

Таблица 2 - Входные данные и программно заданные коэффициенты

Параметр	Обозначение	Единица/значение	Использование
Номинальная эффективная мощность	N_eном	кВт	Базовая мощность характеристики
Номинальный часовой расход топлива	Gтном	кг/ч	Базовый расход и расчёт g_eном
Номинальная частота вращения	nном	мин$^{-1}$	Нормирование и сетка частот
Степень неравномерности регулятора	δр	рекомендуется 0,05–0,08	$n_0 = (1 + δр)n$ном
Доля расхода на холостом ходу	kx.x.	рекомендуется 0,25–0,30	Gт0 = kx.x.Gтном
Неразделённая камера	a; b	0,87; 1,13	Коэффициенты полинома $N_e(n)$
Предкамера	a; b	0,60; 1,40	Коэффициенты полинома $N_e(n)$
Вихревая камера	a; b	0,70; 1,30	Коэффициенты полинома $N_e(n)$

Расчёт начинается с определения номинального крутящего момента и удельного расхода топлива. Затем создаётся строка холостого хода, строка номинального режима и 14 строк при последовательном уменьшении частоты на 100 мин$^{-1}$. Для i-й расчётной точки используется безразмерная частота x = n/nном. Вычислительная схема может быть записана следующими зависимостями:

$$x = n / nном;$$

$$N_e(n) = N_eном \cdot x \cdot (a + b \cdot x - x^2);$$

$$M_e(n) = 9550 \cdot N_e(n) / n;$$

$$g_e(n) = g_eном \cdot (1{,}55 - 1{,}55 \cdot x + x^2);$$

$$Gm(n) = g_e(n) \cdot N_e(n) / 1000, \quad где \quad g_eном = 1000 \cdot Gтном / N_eном.$$

Коэффициент 9550 реализует стандартное преобразование мощности в крутящий момент при использовании кВт и мин$^{-1}$. Полином мощности обеспечивает $N_e = N_e$ном при x = 1, поскольку для всех трёх пар коэффициентов выполняется a + b = 2. Формула удельного расхода также возвращает номинальное значение при x = 1. Таким образом, номинальная

строка согласована с входными данными по построению, а остальные точки формируются как нормированное продолжение характеристики.

Мощность, момент, часовой и удельный расходы сначала округляются до трёх знаков, затем общий формат удаляет конечные нули. Поэтому число видимых десятичных знаков различается при одинаковой расчётной точности. При экспорте пустая ячейка заменяется строкой «0»; имя файла и листа фиксированы, сохранение выполняется в текущий каталог.

Все рабочие значения определяются только через x = n/nном; крутящий момент является производной величиной от мощности и частоты. Фактически представленная версия формирует табличную внешнюю скоростную характеристику двигателя и связанные с ней топливные показатели.

Результаты и обсуждение

Контрольный набор данных осуществляется по экспортированной таблице и алгоритму: N_eном = 300 кВт, Gтном = 45 кг/ч, nном = 2000 мин$^{-1}$, неразделённая камера сгорания, δр = 0,05 и kх.х. = 0,25. При этих параметрах частота холостого хода равна 2100 мин$^{-1}$, а расход топлива на холостом ходу - 11,25 кг/ч. Номинальный крутящий момент составляет 1432,5 Н·м, номинальный удельный расход - 150 г/(кВт·ч). Эти значения не следует интерпретировать как паспортные данные конкретного двигателя: в материалах не указаны марка двигателя, источник входных параметров и условия их получения.

Таблица 3 - Выборочные результаты контрольного расчёта

n, мин$^{-1}$	M_e, Н·м	N_e, кВт	Gт, кг/ч	g_e, г/(кВт·ч)
2100	0	0	11,250	0
2000	1432,500	300,000	45,000	150,000
1600	1624,450	272,160	38,783	142,500
1200	1701,810	213,840	31,434	147,000
1100	1703,240	196,185	29,428	150,000
800	1664,570	139,440	22,798	163,500
600	1602,970	100,710	17,750	176,250

Независимый повторный расчёт подтвердил частоту, мощность, часовой и удельный расходы топлива во всех строках с точностью до 0,001. Для крутящего момента максимальное абсолютное расхождение между повторным расчётом с трёхзначным промежуточным округлением и значением в XLSX составило 0,005 Н·м. Расхождение наблюдается только в последнем отображаемом знаке и связано с тем, что экспортированная таблица содержит значения с удалёнными конечными разрядами. Функциональная согласованность таблицы с формулами подтверждена, но такая проверка является проверкой реализации алгоритма, а не доказательством физической адекватности модели.

Графическое представление относительных характеристик показано на рисунке 3. В пределах расчётного примера мощность монотонно уменьшается от 300 кВт при 2000 мин⁻¹ до 100,71 кВт при 600 мин⁻¹. Крутящий момент возрастает до 1703,24 Н·м при 1100 мин⁻¹, что на 18,9 % выше номинального значения, после чего снижается. Минимальный удельный расход 142,5 г/(кВт·ч) формируется при 1500–1600 мин⁻¹ и на 5 % ниже номинального; при 600 мин⁻¹ он возрастает до 176,25 г/(кВт·ч), то есть на 17,5 % выше номинального.

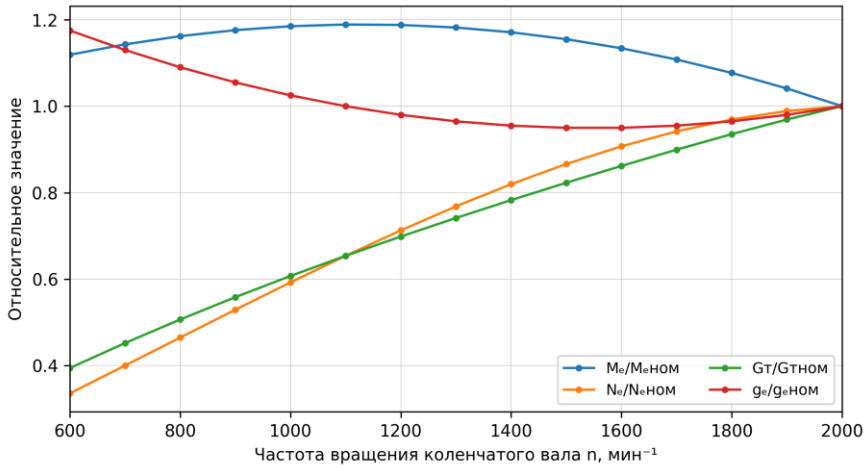


Рисунок 3 - Нормированные характеристики контрольного расчёта по данным XLSX

Figure 3 - Normalized characteristics of the control calculation based on XLSX data

Опубликованные подходы имеют более высокий уровень детализации: расход топлива задаётся функцией частоты и момента и калибруется по CAN-шине или стендовым данным [7, 8]; модели трансмиссии используют измеренные нагрузки и сопоставляют расчёт с экспериментом [6]; модели тракторно-орудийного агрегата учитывают тяговую динамику, почву, глубину и производительность [4, 5, 9]. Рассматриваемая программа быстро формирует скоростную характеристику по трём номинальным параметрам и типу камеры сгорания, но перенос результатов на конкретный двигатель требует калибровки.

Практическая ценность реализации связана с автоматизацией вычислений, единообразным округлением и формированием электронной таблицы. Регистрационные материалы сообщают о сокращении времени расчёта [1], но не приводят методику хронометража и количественный эффект. Документация подтверждает работу в Windows 10 или более поздней версии, графический интерфейс и поставку в виде исполняемого файла. MS Office 2016 следует трактовать как среду просмотра XLSX, поскольку операционной системой отдельно названа Windows 10 [1]. Указаны Intel Core i3 и 4 ГБ оперативной памяти, но нагрузочные испытания и измерения ресурсов не приведены; сведения о защите данных и сетевой безопасности отсутствуют либо неприменимы к автономному приложению.

Заключение

1. Программа реализует автономный расчёт скоростной характеристики силовой установки МТА с табличным выводом и экспортом в XLSX.

2. Архитектура объединяет интерфейсный, расчётный, табличный и экспортный компоненты; база данных и внешние интеграции отсутствуют.

3. Алгоритм использует нормированную частоту вращения, полином мощности, соотношение мощности и момента и квадратичную зависимость удельного расхода топлива.

4. Проверка контрольной таблицы подтвердила частоту, мощность и расходы топлива до 0,001; максимальное расхождение момента 0,005 Н·м связано с округлением.

5. Представленный листинг формирует внешнюю скоростную двигателя МТА.

6. Применение к конкретному двигателю требует экспериментальной калибровки; при доработке необходимы контроль диапазонов ввода, настраиваемая сетка частот, выбор пути экспорта и явные сообщения об ошибках.

Список литературы

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024613842 Российская Федерация. Энергетическая оценка машинно-тракторного агрегата с комбинированным посевным комплексом для полосового посева сельскохозяйственных культур : № 2024611486 : заявл. 26.01.2024 : опубл. 16.02.2024 / А. Л. Севостьянов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ПлантаСтрип». – EDN QMEPRB.

2. Jaskulska I., Romaneckas K., Jaskulski D., Gałęzewski L., Breza-Boruta B., Dębska B., Lemanowicz J. Soil Properties after Eight Years of the Use of Strip-Till One-Pass Technology // Agronomy. 2020. Vol. 10, No. 10. Art. 1596. DOI: 10.3390/agronomy10101596.

3. Šarauskis E., Vaitauskienė K., Romaneckas K., Jasinskas A., Butkus V., Kriaučiūnienė Z. Fuel consumption and CO_2 emission analysis in different strip tillage scenarios // Energy. 2017. Vol. 118. P. 957–968. DOI: 10.1016/j.energy.2016.10.121.

4. Kumar A. A., Tewari V. K., Gupta C., Kumar N. A visual basic program and instrumentation system for power and energy mapping of tractor implement // Engineering in Agriculture, Environment and Food. 2017. Vol. 10, No. 2. P. 121–132. DOI: 10.1016/j.eaef.2016.12.003.

5. Kolator B. A. Modeling of Tractor Fuel Consumption // Energies. 2021. Vol. 14, No. 8. Art. 2300. DOI: 10.3390/en14082300.

6. Siddique M. A. A., Baek S.-M., Baek S.-Y., Kim W.-S., Kim Y.-S., Kim Y.-J., Lee D.-H., Lee K.-H., Hwang J.-Y. Simulation of Fuel Consumption Based on Engine Load Level of a 95 kW Partial Power-Shift Transmission Tractor // Agriculture. 2021. Vol. 11, No. 3. Art. 276. DOI: 10.3390/agriculture11030276.

7. Девянин С. Н., Бижаев А. В., Павлов Я. Д., Ветрова С. М., Барчукова А. С. Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива //

Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 68–74. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74.

8. Laurén M., Goswami G., Tupitsina A., Jaiswal S., Lindh T., Sopanen J. General-Purpose and Scalable Internal-Combustion Engine Model for Energy-Efficiency Studies // Machines. 2022. Vol. 10, No. 1. Art. 26. DOI: 10.3390/machines10010026.

9. Lee J. W., Kim J. S., Kim K. U. Computer simulations to maximise fuel efficiency and work performance of agricultural tractors in rotovating and ploughing operations // Biosystems Engineering. 2016. Vol. 142. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.11.012.

10. Python Software Foundation. The Python Language Reference [Электронный ресурс]. URL: https://docs.python.org/3/reference/ (дата обращения: 20.07.2026).

11. Riverbank Computing. What is PyQt? [Электронный ресурс]. URL: https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro/ (дата обращения: 20.07.2026).

References

1. Sevostyanov, A. L. (2024). *Energeticheskaya otsenka mashinno-traktornogo agregata s kombinirovannym posevnym kompleksom dlya polosovogo poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Energy assessment of a machine-tractor unit with a combined seeding complex for strip sowing of agricultural crops] (Russian Federation Certificate of State Registration of a Computer Program No. 2024613842; Application No. 2024611486). PlantaStrip LLC. EDN QMEPRB.

2. Jaskulska, I., Romaneckas, K., Jaskulski, D., Gałęzewski, L., Breza-Boruta, B., Dębska, B., & Lemanowicz, J. (2020). Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology. *Agronomy, 10*(10), 1596. https://doi.org/10.3390/agronomy10101596

3. Šarauskis, E., Vaitauskienė, K., Romaneckas, K., Jasinskas, A., Butkus, V., & Kriaučiūnienė, Z. (2017). Fuel consumption and CO_2 emission analysis in different strip tillage scenarios. *Energy, 118*, 957–968. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.121

4. Kumar, A. A., Tewari, V. K., Gupta, C., & Kumar, N. (2017). A visual basic program and instrumentation system for power and energy mapping of tractor implement. *Engineering in Agriculture, Environment and Food, 10*(2), 121–132. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2016.12.003

5. Kolator, B. A. (2021). Modeling of tractor fuel consumption. *Energies, 14*(8), 2300. https://doi.org/10.3390/en14082300

6. Siddique, M. A. A., Baek, S.-M., Baek, S.-Y., Kim, W.-S., Kim, Y.-S., Kim, Y.-J., Lee, D.-H., Lee, K.-H., & Hwang, J.-Y. (2021). Simulation of fuel consumption based on engine load level of a 95 kW partial power-shift transmission tractor. *Agriculture, 11*(3), 276. https://doi.org/10.3390/agriculture11030276

7. Devyanin, S. N., Bizhaev, A. V., Pavlov, Y. D., Vetrova, S. M., & Barchukova, A. S. (2023). Parametricheskaya kharakteristika dvigatelya traktora po udel'nomu raskhodu topliva [Parametric characteristic of a tractor engine by specific fuel consumption]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii, 17*(4), 68–74. https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74

8. Laurén, M., Goswami, G., Tupitsina, A., Jaiswal, S., Lindh, T., & Sopanen, J. (2022). General-purpose and scalable internal-combustion engine model for energy-efficiency studies. *Machines, 10*(1), 26. https://doi.org/10.3390/machines10010026

9. Lee, J. W., Kim, J. S., & Kim, K. U. (2016). Computer simulations to maximise fuel efficiency and work performance of agricultural tractors in rotovating and ploughing operations. *Biosystems Engineering, 142*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.012

10. Python Software Foundation. (n.d.). *The Python language reference*. https://docs.python.org/3/reference/

11. Riverbank Computing Limited. (n.d.). *What is PyQt?* https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro/