

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.359.2:631.15

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-244-2-81-86

А.А. Багаев

A.A. Bagaev

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТОКА ЧЕРЕЗ СТЕНКУ СТЕБЛЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

TECHNOLOGICAL COMPONENT OF CURRENT THROUGH THE STEM WALL OF PLANT MATERIALS

Ключевые слова: электротехнология, электрическая схема замещения, стенка стебля, технологическая составляющая электрического тока.

В основу известных электротехнологических процессов положено воздействие на растительный материал электрического тока, повышение энергоэффективности которых следует рассматривать как процесс увеличения технологической составляющей «прямого» (в направлении от паренхимы к эпидермису) тока. Одновременно целесообразно уменьшать «обратный» ток и ток сквозной проводимости в «прямом» и «обратном» направлениях, которые в основном сопровождаются нагревом ткани растительного происхождения и являются неэффективными. В этом случае целесообразно использовать анализ процессов в объекте обработки на основе эквивалентной электрической схемы замещения. Целью исследования является установление соотношения между действующим значением полного тока через стенку стебля растительных материалов и его технологической составляющей в общем виде на основе анализа синтезированной ранее эквивалентной схемы замещения и ее преобразованного варианта. Установлено, что технологическая составляющая «прямого» тока, как и полного тока через стенку стебля, содержит постоянную составляющую и высшие гармоники, из которых при разложении в ряд Фурье учтены только первые две, и увеличивается с уменьшением частоты электромагнитных колебаний. Получено выражение, позволяющее определить характер изменения величины технологической составляющей тока в зависимости от величины полного тока через стенку стебля, напряженности электрического поля и частоты напряжения, что имеет практическое значение, т.к. управлять при реализации электротехнологического процесса возможно именно полным током. Количественная оценка технологической составляющей тока

предполагает определение численных значений элементов схемы замещения.

Keywords: electrical technology, equivalent circuit, stem wall, technological component of electric current.

The known electro-technological processes are based on the effect of electric current on plant material which increase of energy efficiency should be considered as a process of increasing the technological component of the “forward” (in the direction from the parenchyma to the epidermis) current. At the same time it is expedient to decrease the “reverse” current and the current of through conduction in the “forward” and “reverse” directions which are mainly accompanied by heating of the plant tissue and are inefficient. In this case, it is advisable to use the analysis of processes in the treatment object on the basis of an equivalent electrical substitution circuit. The research goal is to determine the relationship of the effective value of the total current through the stem wall of plant materials and its technological component in a general form on the basis of the analysis of the equivalent substitution circuit synthesized earlier and its transformed version. It is found that the technological component of the “direct” current and the total current through the stem wall contain a constant component and higher harmonics of which only the first two are taken into account when decomposing into Fourier series, and increases with decreasing frequency of electromagnetic oscillations. The expression allowing determining the character of change in the value of the technological component of the current depending on the value of the total current through the stem wall, electric field strength and voltage frequency is obtained; that is of practical importance since it is the total current that may be controlled during the realization of the electro-technological process. Quantitative evaluation of the technological current component involves determining the numerical values of the elements of the substitution circuit.

Багаев Андрей Алексеевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Bagaev Andrey Alekseevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Введение

В основу известных электротехнологических процессов положено воздействие на растительный материал электрического тока [1-3].

Указанные электротехнологические процессы являются востребованными в том случае, если удастся сократить неэффективные затраты электрической энергии на нагрев обрабатываемого материала и усилить его технологическое действие. Повышение энергоэффективности электротехнологического процесса следует рассматривать как процесс увеличения технологической составляющей «прямого» (в направлении от паренхимы к эпидермису) тока. Одновременно целесообразно уменьшать «обратный» ток и ток сквозной проводимости в «прямом» и «обратном» направлениях, которые в основном идут на нагрев растительной ткани.

Эквивалентная электрическая схема замещения стенки стебля растительных материалов обоснована в работе [4].

Величина технологической составляющей тока определена параметрами сопротивления R_{M1} и емкости C_{M1} стенки стебля, сопротивления стадии переноса иона через границу раздела фаз R_{F1} , сопротивления R_{W1} и емкости C_{W1} стадии транспортировки иона к границе раздела фаз, а также емкостью двойного электрического слоя $C_{Д1}$ «прямой» ветви схемы в направлении от паренхимы к эпидермису.

Целью исследования является установление соотношения между действующим значением полного тока через стенку стебля растительных материалов и его технологической составляющей.

Технологическая составляющая тока через стенку стебля определена значениями сопротивления R_{N1} и емкости C_{C9} , полученными в результате ряда преобразований исходной схемы замещения, этапы преобразования которой изложены в [5] и изображенной на рисунке 1.

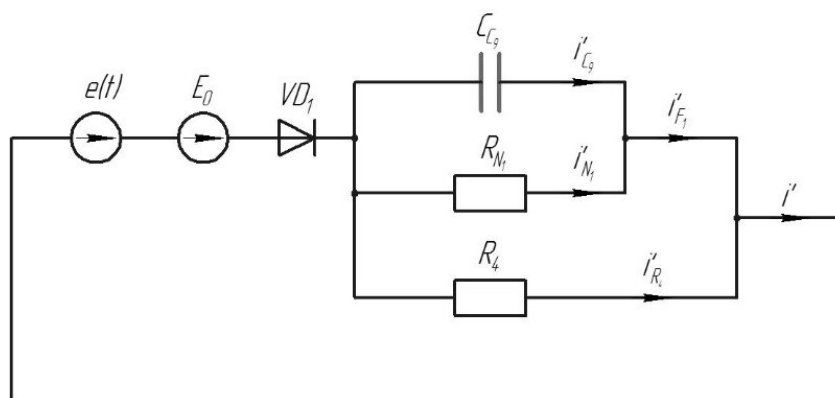


Рис. 1. «Прямая» ветвь упрощенной схемы замещения стенки стебля растительных материалов при наложении на нее синусоидального напряжения:

R_{N1} , C_{C9} – сопротивление и емкость стенки стебля; R_4 – сопротивление сквозной проводимости; $E_0 = E_1$ – разность электрических потенциалов между внешней и внутренней поверхностями стенки стебля в «прямом» направлении; $e(t)$ – источник напряжения синусоидальной формы; VD_1 – диод; i'_{F1} – ток через стенку стебля; i'_{R4} – ток сквозной проводимости; i' – полный ток в «прямом» направлении

Рассмотрим работу схемы замещения на рисунке 1 при наложении на нее синусоидального напряжения $e(t) = E_m \sin \omega t$ с использованием подходов и методов описанных в [6, 7].

В соответствии с законами Кирхгофа:

$$U_{D1} + U_{C9} = e(t) + E_0; U_{C9} = i'_{N1} R_{N1} = i'_{R4} R_4; i'_{C9} + i'_{N1} = i'_{F1}; i'_{F1} + i'_{R4} = i'.$$

Диод открывается в момент ωt_1 , когда напряжение на нем $U_{D1} + U_{C9} = e(t) + E_0 - U_{C9}$, увеличиваясь, становится равным нулю. Как только диод открывается, напряжение на емкости C_{C9} становится равным $U_{C9} = e(t) + E_0$ (рис. 2 в).

Как только диод закрывается, ток через емкость станет изменяться по закону $i'_{C9} = C_{C9}(dU_{C9}/dt) = \omega C_{C9}E_m \cos \omega t$ (рис. 2 е), ток через сопротивление R_{N1} – по закону $i'_{N1} = U_{C9}/R_{N1} = (E_m/R_{N1})\sin \omega t + E_0/R_{N1}$, ток через сопротивление R_4 – по закону $i'_{R4} = U_C/R_4 = (E_m/R_4)\sin \omega t + E_0/R_4$ (рис. 2 г, д). Ток через диод $i' = i'_{C9} + i'_{N1} + i'_{R4} = (E_m/R_{N1})\sin \omega t + E_0/R_{N1} + \omega C_{C9}E_m \cos \omega t + (E_m/R_4)\sin \omega t + E_0/R_4$ (рис. 2 з) в момент ωt_2 становится равным нулю, и диод VD_1 закрывается. Значение ωt_2 найдем из условия $(\frac{E_m}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_4})\sin \omega t_2 + E_0(\frac{1}{R_{N1}} + \frac{1}{R_4}) + \omega C_{C9}E_m \cos \omega t_2 = 0$.

Тогда

$$\omega t_2 = \arcsin \left[-\frac{E_0 \left(\frac{1}{R_{N1}} + \frac{1}{R_4} \right)}{\sqrt{E_m^2 \left(\frac{1}{R_{N1}} + \frac{1}{R_4} \right)^2 + (\omega C_{C9} E_m)^2}} \right] - \arctg \left(\frac{\omega C_{C9} E_m}{E_m \left(\frac{1}{R_{N1}} + \frac{1}{R_4} \right)} \right) + \pi.$$

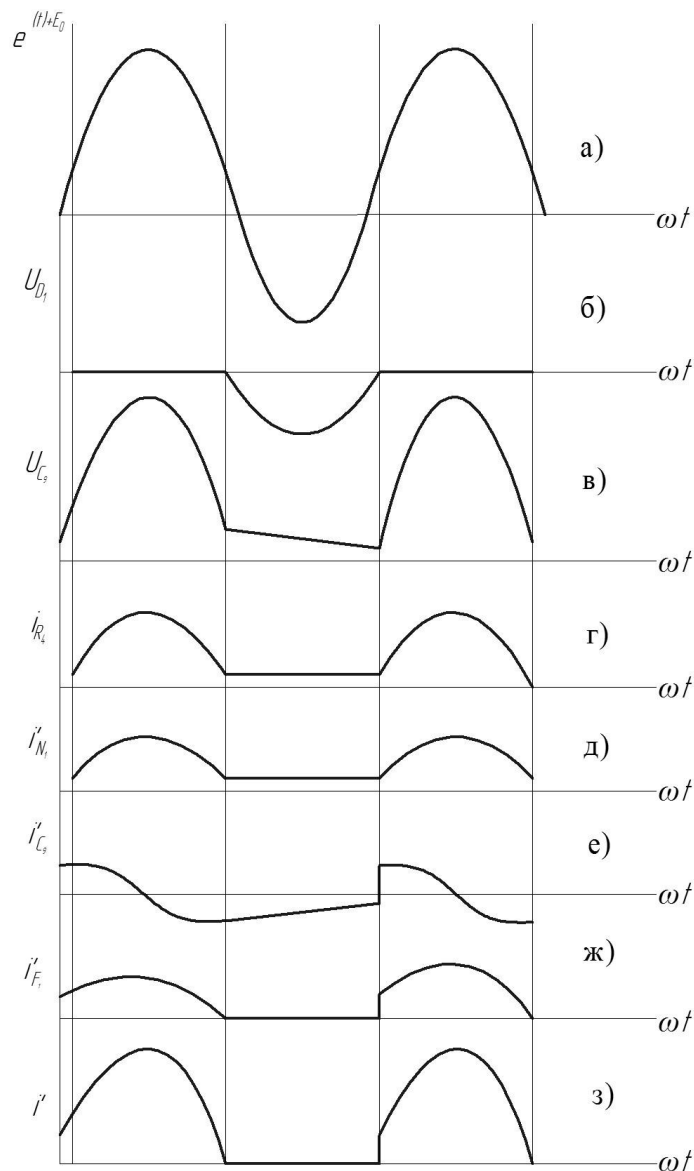


Рис. 2. Осциллограммы токов и напряжений

В интервале от ωt_2 до $(\omega t_1 + 2\pi)$ емкость C_{C9} разряжается на параллельно включенные сопротивления R_{N1} и R_4 , и напряжение на емкости изменяется по показательному закону $U_{C9} = E_0 + E_m \sin \omega t_2 \exp \left[-((2\pi + \omega t_1 - \omega t_2)(R_{N1} + R_4))/(\omega C_{C9} R_{N1} R_4) \right]$.

При этом $i'_{N1} = U_{C9}/R_{N1}$; $i'_{R4} = U_{C9}/R_4$; $i'_{N1} + i'_{R4} = -i'_{C9}$.

Момент открытия диода определяется из условия $U_C = e(t) + E_0 = 0$, т.е. когда правая часть этого уравнения равна нулю, в цепи появляется «прямой» ток: $\omega t_1 = \arcsin(-E_0/E_m)$.

Технологическая составляющая тока (рис. 2 ж)

$i'_F = i'_{C9} + i'_{N1} = (E_m/R_{N1})\sin\omega t + E_0/R_{N1} + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t$, где $\omega t_1 \leq \omega t \leq \omega t_2$.

Раскладываем полученную технологическую составляющую тока в ряд Фурье на интервале $(0, \pi)$.

Разложение по косинусам:

$$a_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{E_0}{R_{N1}} + (E_m/R_{N1})\sin\omega t + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t \right) d\omega t = \frac{4}{\pi} \frac{E_m}{R_{N1}};$$

амплитуда первой гармоники:

$$a_1 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{E_0}{R_{N1}} + (E_m/R_{N1})\sin\omega t + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t \right) \cos\omega t d\omega t = \omega C_{C9}E_m;$$

амплитуда второй гармоники:

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{E_0}{R_{N1}} + (E_m/R_{N1})\sin\omega t + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t \right) \cos 2\omega t d\omega t = -\frac{4}{3\pi} \frac{E_0}{R_{N1}}.$$

Разложение по синусам:

амплитуда первой гармоники;

$$b_1 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{E_0}{R_{N1}} + (E_m/R_{N1})\sin\omega t + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t \right) \sin\omega t d\omega t = \frac{4}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_{N1}};$$

амплитуда второй гармоники

$$b_2 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{E_0}{R_{N1}} + (E_m/R_{N1})\sin\omega t + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t \right) \sin 2\omega t d\omega t = \frac{8}{3\pi} \omega C_{C9}E_m.$$

Следовательно, мгновенное значение технологической составляющей тока описывается рядом Фурье:

$$i_{F1}(\omega t) = \frac{2}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \omega C_{C9}E_m \cos\omega t - \frac{4}{3\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} \cos 2\omega t + \left(\frac{4}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_{N1}} \right) \sin\omega t + \frac{8}{3\pi} \omega C_{C9}E_m \sin 2\omega t. \quad (1)$$

Результатом преобразования полученного ряда является:

$$i_{F1}(\omega t) = \frac{2}{\pi} \frac{E_m}{R_{N1}} + \sqrt{(\omega C_{C9}E_m)^2 + \left(\frac{4}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_{N1}} \right)^2} \sin(\omega t + \alpha_3) + \sqrt{\left(\frac{4}{3\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} \right)^2 + \left(\frac{8}{3\pi} \omega C_{C9}E_m \right)^2} \sin(2\omega t + \alpha_4),$$

где $\alpha_3 = \arctg \frac{\omega C_{C9}E_m}{\left(\frac{4}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_{N1}} \right)}$;

$$\alpha_4 = \arctg \left(-\frac{(4E_0)/(3R_{N1})}{\frac{8}{3\pi} \omega C_{C9}E_m} \right).$$

Действующее значение технологической составляющей тока

$$I_{F1} = \left[\left(\frac{2}{\pi} \frac{E_m}{R_{N1}} \right)^2 + \frac{(\omega C_{C9}E_m)^2 + \left(\frac{4}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_{N1}} \right)^2}{2} + \frac{\left(\left(\frac{8}{3\pi} \omega C_{C9}E_m \right)^2 + \left(\frac{4}{3\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} \right)^2 \right)}{2} \right]^{1/2}. \quad (2)$$

С учетом действующего значения полного тока через стенку стебля I

$$I = \left[\left(\frac{2E_m}{\pi} \left(\frac{1}{R_{N2}} - \frac{1}{R_{F2}} \right) \right)^2 + \frac{ \left\{ (\omega E_m)^2 (C_{C9} + C_{K9})^2 + \left(\frac{4E_0}{\pi} \left(\frac{1}{R_{N2}} - \frac{1}{R_{F2}} \right) + E_m \left(\frac{1}{R_{N2}} + \frac{1}{R_{F2}} \right) \right) \right\}^2}{2} \right]^{1/2} + \left(\frac{4E_0}{3\pi} \left(\frac{1}{R_{F2}} - \frac{1}{R_{N2}} \right) \right)^2 + \frac{ \left(\frac{8}{3\pi} \omega E_m (C_{C9} - C_{K9}) \right)^2}{2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Отношение действующих значений технологической составляющей I_{F1} и полного тока I через стенку стебля определяется следующим образом:

$$\frac{I_{F1}}{I} = \left[\left(A^2 + \frac{B^2}{2} + \frac{C^2}{2} \right) / \left(D^2 + \frac{F^2}{2} + \frac{H^2}{2} \right) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

где $A = \left(\frac{2E_m}{\pi R_{N2}} \right)^2$;

$$B = (\omega C_{C9} E_m)^2 + \left(\frac{4}{\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} + \frac{E_m}{R_{N1}} \right)^2;$$

$$C = \left(\frac{4}{3\pi} \frac{E_0}{R_{N1}} \right)^2 + \left(\frac{8}{3\pi} \omega C_{C9} E_m \right)^2;$$

$$D = \left(\frac{2E_m}{\pi} \left(\frac{1}{R_{N2}} - \frac{1}{R_{F2}} \right) \right)^2;$$

$$F = (\omega E_m)^2 (-C_{K9})^2 + \left(\frac{4E_0}{\pi} \left(\frac{1}{R_{N2}} - \frac{1}{R_{F2}} \right) + E_m \left(\frac{1}{R_{N2}} + \frac{1}{R_{F2}} \right) \right)^2;$$

$$H = \left(\frac{4E_0}{3\pi} \left(\frac{1}{R_{F2}} - \frac{1}{R_{N2}} \right) \right)^2 + \left(\frac{8}{3\pi} \omega E_m (C_{C9} - C_{K9}) \right)^2.$$

Заключение

Анализ выражения (1) показывает, что технологическая составляющая «прямого» тока содержит постоянную составляющую и высшие гармоники, из которых при разложении в ряд Фурье учтены только первые две, и увеличивается с уменьшением частоты электромагнитных колебаний.

Выражение (4) позволяет определить характер изменения величины технологической составляющей тока в зависимости от величины полного тока через стенку стебля, напряженности электрического поля и частоты напряжения, что имеет практическое значение.

Количественная оценка технологической составляющей тока предполагает определение численных значений элементов схемы замещения.

Библиографический список

1. Электроплазмолиз / Б. Р. Лазаренко, С. П. Фурсов, Ю. А. Щеглов и др. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1977. – 79 с. – Текст: непосредственный.

2. Папченко, А. Я. Расчет электроплазмолитатора для электрической обработки растительного сырья / А. Я. Папченко, Ю. А. Щеглов, В. Г. Чебану. – Текст: непосредственный // Электронная обработка материалов. – Кишинев: Штиинца, 1984. – № 3. – С. 81-84.

3. Картавец, В. В. Электротехнологии в растениеводстве и животноводстве: учебное пособие для вузов / В. В. Картавец, Р. К. Савицкас. – Воронеж: ВГАУ, 2010. – 88 с. – Текст: непосредственный.

4. Багаев, А. А. Электрическая эквивалентная схема замещения стенки стебля растительных материалов в процессах электроосмотического обезвоживания / А. А. Багаев. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-231-1-83-91. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (231). – С. 83-91.

5. Багаев, А. А. Исследование работы эквивалентной электрической схемы замещения стенки стебля растительных материалов / А. А. Багаев. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-242-12-65-72. – Текст: непосредственный //

Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 12 (242). – С. 65-72.

6. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Нелинейные цепи / Г. И. Атабеков, А. Б. Тимофеев, С. С. Хухриков; под редакцией Г. И. Атабекова. – Москва: Энергия, 1970. – Т. 2. – 232 с. – Текст: непосредственный.

7. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: учебное пособие / Л. А. Бессонов, И. Г. Демидова, М. Е. Заруди [и др.]; под редакцией Л. А. Бессонова. – Москва: Высшая школа, 1980. – 472 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Lazarenko B.R., Fursov S.P., Shcheglov Iu.A. i dr. Elektroplazmoliz. – Kishinev: Kartia Moldoveniaske, 1977. – 79 s.

2. Papchenko A.Ia., Shcheglov Iu.A., Chebanu V.G. Raschet elektroplazmolizatora dlia elektricheskoi obrabotki rastitelnogo syria // Elektronnaia obrabotka materialov. – Kishinev: Shtiintsa, 1984. – No. 3. – S. 81-84.

3. Kartavtsev V.V. Elektrotekhnologii v rastenievodstve i zhivotnovodstve: uchebnoe posobie dlia

vuzov / V.V. Kartavtsev, R.K. Savitskas. – Voronezh: VGPU, 2010. – 88 s.

4. Bagaev, A.A. Elektricheskaja ekvivalentnaja skhema zameshchenija stenki steblija rastitelnykh materialov v protsessakh elektroosmoticheskogo obezvozhivaniia / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 1 (231). – S. 83-91. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-231-1-83-91.

5. Bagaev, A.A. Issledovanie raboty ekvivalentnoi elektricheskoi skhemy zameshchenija stenki steblija rastitelnykh materialov / A.A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 12 (242). – S. 65-72. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-242-12-65-72.

6. Atabekov G.I., Timofeev A.B., Khukhrikov S.S. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Nelineinye tsepi / pod red. G.I. Atabekova. – Moskva: Energiia, 1970. – Т. 2. – 232 s.

7. Sbornik zadach po teoreticheskim osnovam elektrotekhniki: ucheb. posobie / L.A. Bessonov, I.G. Demidova, M.E. Zarudi i dr.; pod red. L.A. Bessonova. – Moskva: Vyssh. shkola, 1980. – 472 s.



УДК 631.3.004.58

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-244-2-86-91

А.М. Криков, А.Б. Иванников, М.Н. Сидоренко

A.M. Krikov, A.B. Ivannikov, M.N. Sidorenko

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДСТВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

EVALUATION OF APPLICATION EFFICIENCY OF THE SYSTEM OF PROGRAM-ALGORITHMIC AND INFORMATION MEANS OF ADVANCED FORECASTING OF PARAMETERS OF TECHNICAL CONDITION OF TRUCK UNITS AND ASSEMBLIES

Ключевые слова: *улучшенное прогнозирование, грузовые автомобили, электронные таблицы EXCEL, LibreOffice, техническая диагностика, оценка эффективности, СПАиИС.*

Рассмотрены основные результаты проверки эффективности применения системы программно-алгоритмических и информационных средств (СПАиИС) усовершенствованного прогнозирования параметров технического состояния узлов и агрегатов грузовых автомобилей (ГА). Из множества путей сокращения затрат рабочего времени специалистов на

выполнение многогранных технологических мероприятий по обеспечению базовой надёжности машин нами рассматривается комплекс задач, связанных с техническим обслуживанием (ТО) и техническим диагностированием (ТД) грузовых автомобилей, как одним из основных видов средств механизации в агропромышленном комплексе (АПК). Для достижения этой цели создана информационная модель, которая повышает точность прогнозирования показателей технических параметров узлов и агрегатов ГА сельхозтоваропроизводителя (СХТП) с использованием компьютерных технологий. Для оценки предполагаемой эффективности