

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, Ю.Н. Макеева

УДЕЛЬНАЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ПРИ БАЛЛАСТИРОВАНИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЧВООБРАБОТКИ

Сформулированы модели, разработаны алгоритм и номограмма рационального балластирования колесных 4к4а тракторов для технологий почвообработки с использованием удельных параметров.

Ключевые слова: алгоритм, балластирование, материалоемкость, модели, номограмма, технология, удельная масса.

N.I. Selivanov, Yu.N. Makeeva

SPECIFIC MATERIAL CAPACITY OF WHEEL TRACTORS WHEN BALLASTING FOR THE TILLAGE TECHNOLOGIES

Models are formulated; the algorithm and the nomogram of the rational ballasting of the wheel 4k4a tractors are developed for tillage technologies with the specific parameters use.

Key words: algorithm, ballasting, material capacity, models, nomogram, technology, specific weight.

Введение. Основу современного тракторного рынка составляют унифицированные мобильные энергетические средства колесной формулы 4к4а разных типоразмеров с изменяющимися в широком диапазоне массоэнергетическими параметрами. Особенностью адаптации таких тракторов к зональным технологиям почвообработки является ступенчатое изменение эксплуатационной массы путем балластирования, установки сдвоенных колес и применения догружающих устройств [1].

Для установленных групп операций основной обработки почвы в работах [2, 3] обоснованы оптимальные значения показателя технологичности – удельной материалоемкости $m_{y\delta}^*$ колесных тракторов разной комплектации. Однако в практике эксплуатации обеспечение $m_{y\delta i}^*$ современных колесных тракторов для разных операций почвообработки путем балластирования не всегда производится из-за высокой трудоемкости установки и снятия балластных грузов и отсутствия соответствующих рекомендаций.

В работе [4] обоснованы условия балластирования колесных 4к4а тракторов с установленным энергетическим потенциалом для адаптации к современным технологиям почвообработки. Сформулированы модели, разработаны алгоритм рационального балластирования и номограмма определения параметров дополнительного балласта. Разработанную номограмму целесообразно использовать инженерно-технический службой предприятия или официальным дилером при балластировании тракторов для определенной группы операций основной обработки почвы.

При подготовке тракторов разных производителей и типоразмеров к эксплуатации более универсальной является методика определения степени балластирования с использованием удельной массы полного, переднего и заднего балластов. Поэтому разработка рекомендаций по рациональному балластированию колесных тракторов для адаптации к технологиям почвообработки является актуальной и практически значимой.

Цель работы. Обоснование удельной материалоемкости и степени балластирования колесных 4к4а тракторов для оптимальной адаптации к технологиям почвообработки.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1) сформировать модели и разработать алгоритм оптимизации удельной материалоемкости трактора за счет изменения степени балластирования;

2) обосновать удельные массоэнергетические параметры трактора и дополнительного балласта для адаптации к технологиям почвообработки;

3) разработать номограмму определения удельной массы элементов дополнительного балласта при использовании тракторов в технологиях основной обработки почвы.

Условия и методы исследования. Решение поставленных задач производилось с учетом установленных рекомендаций, допущений и ограничений:

- рациональный тяговый диапазон трактора ограничен, с одной стороны, режимом допустимого буксования δ_0 при максимальном значении коэффициента использования веса $\varphi_{KPmax} = \varphi_{KPH_1}$ для выполнения первой, наиболее энергоемкой группы операций (отвальная вспашка и глубокое рыхление) на скорости $V_{H1}^* = 2,20 \frac{m}{c}$, с другой стороны, режимом максимального тягового КПД η_{Tmax} , которому соответствует $\varphi_{KPop} = \varphi_{KPr}$ для выполнения третьей, наименее энергоемкой группы операций (поверхностная обработка почвы и прямой посев) при $V_{H3}^* = 3,33 m/c$, середина которого с $\varphi_{KPH_2} = \bar{\varphi}_{KP} = 0,5 \cdot (\varphi_{KPmax} + \varphi_{KPop})$ при скорости $V_{H2}^* = 2,65 m/c$ служит для операций второй группы (безотвальная комбинированная обработка и чизелевание);

- рациональному тяговому диапазону ($\varphi_{KPmax} - \varphi_{KPop}$) соответствует интервал изменения удельной материалоемкости от максимальной $m_{y\partial 1}^*$ до минимальной $m_{y\partial 3}^*$, соотношение которых не должно превышать максимально допустимое увеличение минимальной удельной транспортировочной массы брутто трактора $m_{y\partial 0}$ за счет балластирования $m_{B\partial}^\partial$ [5]

$$\lambda m_{y\partial max} = m_{y\partial 1}^* / m_{y\partial 3}^* \leq \lambda m_{y\partial don} = (m_{y\partial 0} + m_{B\partial}^\partial) / m_{y\partial 0}. \quad (1)$$

У колесного трактора, с минимальной транспортировочной массой брутто $m_{y\partial 0}$, продольной базой L и абсциссой центра масс a_{u0} , максимальная удельная масса дополнительного балласта для первой группы операций $m_{B\partial max} = (m_{y\partial 1}^* - m_{y\partial 0})$. Тогда, при известном соотношении $m_{y\partial 0} = a \cdot m_{y\partial 1}^*$, оптимальные значения удельной массы (кг/кВт) общего балласта $m_{B\partial}$ для каждой группы операций выражаются как

$$\begin{cases} m_{B\partial 1}^* = m_{y\partial 1}^* \cdot (1 - a); \\ m_{B\partial 2}^* = m_{y\partial 2}^* - a \cdot m_{y\partial 1}^*; \\ m_{B\partial 3}^* = m_{y\partial 3}^* - a \cdot m_{y\partial 1}^*. \end{cases} \quad (2)$$

Удельные массы переднего $m_{B1y\partial}^*$ и заднего $m_{B2y\partial}^*$ балластов определяются решением уравнений моментов относительно осей передних и задних колес [3] при известных абсциссах центра масс трактора $a_u > a_{u0}$ и переднего балласта $a_n \geq 0$

$$\begin{cases} m_{B1y\partial}^* = (m_{y\partial}^* \cdot a_u - m_{y\partial 0} \cdot a_{u0}) / (L + a_n); \\ m_{B2y\partial}^* = [m_{y\partial}^* \cdot (L + a_n - a_u) - m_{y\partial 0} \cdot (L + a_n - a_{u0})] / (L + a_n). \end{cases} \quad (3)$$

Обозначив относительные величины абсцисс центра масс трактора и переднего балласта как $A_u = a_u / L$, $A_{u0} = a_{u0} / L$ и $A_n = (L + a_n) / L$ из уравнений системы (3), получим выражения для расчета оптимальных значений удельной массы переднего и заднего балластов

$$\begin{cases} m_{B1y\partial}^* = (m_{y\partial}^* \cdot A_u - m_{y\partial 0} \cdot A_{u0}) / A_n; \\ m_{B2y\partial}^* = (m_{y\partial}^* - m_{y\partial 0}) - (m_{y\partial}^* \cdot A_u - m_{y\partial 0} \cdot A_{u0}) / A_n. \end{cases} \quad (4)$$

Абсцисса центра масс A_u для оптимальной нагруженности передних колес трактора в режиме рабочего хода $\lambda_{PR} = Y_{PR}/G_3 = 0,3 - 0,4$ [3] при номинальной тяговой нагрузке P_{KPH} определяется как

$$A_u = \frac{[h_{KP} \cdot \varphi_{KPH} + f(r_{\partial 1} + r_{\partial 2}) \cdot 0,5]}{L}, \quad (5)$$

где h_{KP} – ордината точки прицепа; f – коэффициент сопротивления качению; $r_{\partial 1}, r_{\partial 2}$ – динамические радиусы качения передних и задних колес.

Оптимальные значения полной массы указанных балластов для каждой группы операций почвообработки на тракторах разных типоразмеров при известном или заданном энергетическом потенциале выражаются как

$$\begin{cases} m_{B1}^* = m_{B1y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e\theta}); \\ m_{B2}^* = m_{B2y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e\theta}). \end{cases} \quad (6)$$

Алгоритм рационального балластирования колесного 4к4а трактора с установленным или заданным энергетическим потенциалом ($\xi_N^* \cdot N_{e\theta}$) для основных групп родственных операций почвообработки, при обоснованных значениях номинальной скорости рабочего хода V_H^* , включает: 1) определение $m_{y\partial 0}$, L , a_{u0} , a_n по технической характеристике; 2) определение зависимостей η_T , $\delta = f(\varphi_{KP})$ в интервале буксования движителей $\delta = 0,05-0,20$ и изменения скорости V от 2,20 до 3,80 м/с; 3) установление $\varphi_{KP max} = \varphi_{KP H1}$, $\bar{\varphi}_{KP} = \varphi_{KP H2}$, $\varphi_{KP opt} = \varphi_{KP H3}$ и соответствующих им значений тягового КПД η_T ; 4) расчет удельной материоемкости $m_{y\partial}^* = \eta_{TH} / (\varphi_{KP} \cdot V)_H \cdot g \cdot 10^{-3}$ и эксплуатационной массы трактора $m_{\partial}^* = m_{y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e\theta})$ для каждой группы операций; 5) проверка условия (1) при $m_{y\partial 0} = a \cdot m_{y\partial 1}^*$; 6) определение удельной массы полного балласта $m_{By\partial}$ для каждой группы операций по (2); 7) определение абсциссы центра масс трактора с балластом из условий $a_u = m_n / m_{\partial} = Y_{n cm} / G_3$ и A_u для каждой группы с учетом выражения (5) и рекомендаций [3]; 8) расчет удельной массы $m_{B1y\partial}^*$ и $m_{B2y\partial}^*$ по (4); 9) определение полной массы балластов m_{B1}^* и m_{B2}^* по (6).

Результаты исследования. Использование экспериментальных зависимостей $\eta_T, \delta = f(\varphi_{KP})$ [3] позволило обосновать оптимальные значения $m_{y\partial}^*$ тракторов 4к4а на одинарных и сдвоенных колесах для установленных групп родственных операций почвообработки (табл.1).

Таблица 1
Оптимальные значения $m_{y\partial}^*$ колесных 4к4а тракторов для операций основной обработки почвы [6]

| Группа операций | $V_H, \text{м/с}$ (км/ч) | Одинарные колеса | | | Сдвоенные колеса | | |
|-----------------|--|--------------------------|-------------|--|--------------------------|-------------|--|
| | | φ_{KPH}^*/δ | η_{TH} | $m_{y\partial}^*, \text{кг/кВт}$ (кг/л.с.) | φ_{KPH}^*/δ | η_{TH} | $m_{y\partial}^*, \text{кг/кВт}$ (кг/л.с.) |
| 1 | 2,20 (8,0) | $\frac{0,45}{0,15}$ | 0,625 | 64,47 (47,40) | $\frac{0,47}{0,124}$ | 0,692 | 68,21 (50,15) |
| 2 | 2,65 (9,5) | $\frac{0,41}{0,124}$ | 0,634 | 59,49 (43,74) | $\frac{0,41}{0,10}$ | 0,707 | 66,31 (48,76) |
| 3 | 3,33 (12,0) | $\frac{0,37}{0,10}$ | 0,638 | 52,80 (38,82) | $\frac{0,35}{0,07}$ | 0,710 | 62,11 (45,67) |

Рациональным тяговым диапазонам использования трактора на операциях почвообработки разных групп с одинарными ($\varphi_{KPH_1} - \varphi_{KPH_3}$) = (0,45–0,37) и сдвоенными (0,47–0,35) колесами соответствуют $\lambda m_{y\partial max} = 1,221$ и 1,098, что согласуется с условием (1) при $\lambda m_{\partial max} \leq 1,25$.

Оптимальные значения $m_{y\partial}^*$ трактора с одинарными колесами при $m_{y\partial 0} = 51,58 \text{ кг}/\text{kВт}$ достигаются изменением удельной массы общего балласта от минимальной $m_{B3y\partial}^* = 1,22 \text{ кг}/\text{kВт}$ до максимальной $m_{B1y\partial}^* = 12,89 \text{ кг}/\text{kВт}$, что составляет $(0,024–0,250) \cdot m_{y\partial 0}^*$ (табл. 2).

При комплектации трактора сдвоенными колесами $m_{y\partial}^*$ обеспечивается дополнительная удельная масса $\sum m_{B\partial}^*$, включающая удельные массы второго комплекта задних и передних колес $m_{Ky\partial}$ и балластных грузов $m_{By\partial}$, от $\sum m_{B3y\partial}^* = 10,53 \text{ кг}/\text{kВт}$ до $\sum m_{B1y\partial}^* = 16,63 \text{ кг}/\text{kВт}$. При $m_{Ky\partial} = 4,0 – 4,5 \text{ кг}/\text{kВт}$ общая удельная масса балластных грузов для первой группы операций на сдвоенных колесах $m_{B1y\partial}^* = 12,53 \text{ кг}/\text{kВт}$ остается практически неизменной. На операциях 2-й и 3-й групп она повышается до 10,73 и 6,53 $\text{кг}/\text{kВт}$ соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Удельные параметры балластных грузов колесных 4к4а тракторов для технологий почвообработки [6]

| Группа операций | Одинарные колеса | | | Сдвоенные колеса | | | |
|-----------------|------------------|--|----------------------------------|------------------|--|--|----------------------------------|
| | φ_{KPH} | $m_{By\partial}^*, \text{кг}/\text{kВт}$ | $m_{By\partial}/m_{y\partial 0}$ | φ_{KPH} | $\sum m_{B\partial}^*, \text{кг}/\text{kВт}$ | $m_{By\partial}, \text{кг}/\text{kВт}$ | $m_{By\partial}/m_{y\partial 0}$ |
| 1 | 0,45 | 12,89 | 0,250 | 0,47 | 16,63 | 12,63 | 0,245 |
| 2 | 0,41 | 7,91 | 0,153 | 0,41 | 14,73 | 10,73 | 0,208 |
| 3 | 0,37 | 1,22 | 0,024 | 0,35 | 10,53 | 6,53 | 0,127 |

При использовании в качестве основного тягового режима для всех групп родственных операций $\varphi_{KPH}^* = 0,5 \cdot (\varphi_{KPHmax} + \varphi_{KPHopt})$ величина $\lambda m_{y\partial max}$ достигает 1,388 на одинарных и 1,450 на сдвоенных колесах, что недопустимо по условиям балластирования [5]. Это требует компромиссного варианта балластирования для операций первой группы, в основе которого целесообразно использовать тяговый режим при $\varphi_{KPH1}^* = 0,45$ и предлагаемые условия балластирования для его достижения.

По результатам анализа конструкционных особенностей и условий балластирования отечественных [7] и зарубежных [8, 9] колесных 4к4а тракторов установлены интервалы изменения значений относительных абсцисс: $A_{\zeta} = 0,40 – 0,50$; $A_{\zeta 0} = 0,35 – 0,40$; $A_n = 1,0 – 1,6$. Для определения рациональной степени балластирования тракторов с использованием удельных параметров, по результатам натурного и вычислительного экспериментов, разработана номограмма (рис.). Построение номограммы проводилось графо-аналитическим методом в изложенной ниже последовательности.

1. В IV квадранте построены зависимости $\eta_T, \delta = f(\varphi_{KPH})$ в рациональном тяговом диапазоне использования трактора 4к4а на одинарных и сдвоенных колесах.

2. В I квадранте расположены графики $m_{y\partial}^* = \eta_{TH}/(\varphi_{KPH} \cdot V)_H \cdot g \cdot 10^{-3}$ при установленных значениях V_H^* и φ_{KPH}^* (см. табл. 1) для разных технологий почвообработки.

3. Во II квадранте построены зависимости приходящейся на передний мост удельной массы трактора $m_{y\partial 1}^* = m_{y\partial}^* \cdot A_{\zeta}$ и $m_{y\partial 1_0}^* = m_{y\partial 0}^* \cdot A_{\zeta 0}$ с балластом $m_{By\partial} = m_{y\partial}^* - m_{y\partial 0}^*$ и без него.

4. В III квадранте приведены зависимости удельной массы переднего балласта от абсциссы A_n , которая рассчитывается с учетом уравнения (4) как $m_{B1y\partial}^* = (m_{y\partial}^* \cdot A_{\zeta} - m_{y\partial 0}^* \cdot A_{\zeta 0})/A_n$. Масса заднего балласта при известном значении $m_{B1y\partial}^*$ определяется как $m_{B2y\partial}^* = m_{y\partial}^* - m_{y\partial 0}^* - m_{B1y\partial}^*$.

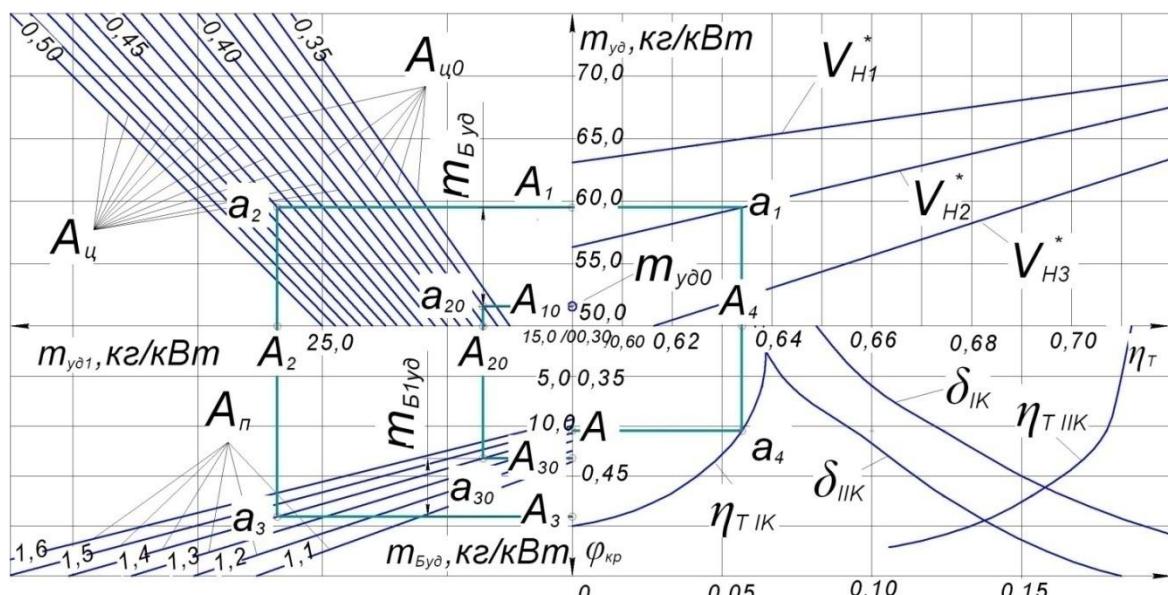
Порядок пользования номограммой поясним на примере трактора Versatile 250 с одинарными колесами при выполнении операций второй группы.

При выполнении операций второй группы целесообразно использовать тяговый режим при

$\varphi_{KPH_2}^* = 0,41$ (т. А). Проведя через эту точку прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линией η_{T1K} (т. а₄), определяют в IV квадранте $\eta_T = 0,634$ (т. А₄). Проведя через эту точку прямую, параллельную оси ординат до пересечения с линией V_{H2}^* , получают т. а₁. Пересечение прямой, параллельной оси абсцисс, из указанной точки с ординатой (т. А₁) определяет значение удельной массы $m_{y\delta}^* = 59,49 \text{ кг}/\text{kBm}$. Точка А₁₀ соответствует минимальной удельной транспортировочной массе брутто $m_{y\delta 0} = 51,58 \text{ кг}/\text{kBm}$ ($m_{By\delta}^* = m_{y\delta}^* - m_{y\delta 0}$) = $59,49 - 51,58 = 7,91 \text{ кг}/\text{kBm}$). Во II квадранте через точки А₁ и А₁₀ проводят прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с линиями $A_u = 0,45$ и $A_{u0} = 0,35$ получают точки а₂ а₂₀. Из этих точек параллельно оси ординат проводят линии до пересечения с осью абсцисс, находят значения $m_{1y\delta}^* = m_{y\delta}^* \cdot A_u = 59,49 \cdot 0,45 = 26,77 \text{ кг}/\text{kBm}$ (т. А₂) и $m_{10y\delta}^* = m_{y\delta 0} \cdot A_{u0} = 51,58 \cdot 0,35 = 18,05 \text{ кг}/\text{kBm}$ (т. А₂₀). Далее, продлив линии из указанных точек до пересечения в III квадранте с линией $m_{By\delta}^* = f(A_u)$ при заданной величине $A_n = 1,3$ (т. а₃ и т. а₃₀) и проводя из этих точек линии, параллельные оси абсцисс, до пересечения с ординатой (т. А₃ и т. А₃₀), находят значение $m_{B1y\delta}^* = (A_3 - A_{30}) = (20,52 - 13,82) = 6,7 \text{ кг}/\text{kBm}$ и $m_{B2y\delta}^* = m_{By\delta}^* - m_{B1y\delta}^* = 7,91 - 6,7 = 1,21 \text{ кг}/\text{kBm}$.

При известной мощности тракторного дизеля $N_{e3} = 184 \text{ kBm}$ и $\xi_N^* = 1,0$ по уравнению системы (6) определяют массу указанных балластов

$$\begin{cases} m_{B1}^* = m_{B1y\delta}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e3}) = 6,7 \cdot 184 = 1233 \text{ кг}; \\ m_{B2}^* = m_{B2y\delta}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e3}) = 1,21 \cdot 184 = 222 \text{ кг}. \end{cases}$$



Номограмма для определения удельной массы балластных грузов при использовании колесных 4к4а тракторов

Аналогично определяют массу балластных грузов для операций почвообработки других групп при оснащении трактора сдвоенными колесами или изменении его мощности.

Выводы

- Представлены модели и алгоритм оптимизации удельной материалоемкости колесных 4к4а тракторов за счет изменения степени балластирования.
- Обоснованы рациональные значения удельной материалоемкости тракторов разной комплектации для адаптации к технологиям почвообработки и условия ее достижения за счет изменения параметров переднего и заднего балластов.
- Разработана номограмма определения удельных параметров переднего и заднего съемных балластов для эффективного использования тракторов в разных технологиях почвообработки.

Литература

1. Селиванов Н.И. Регулирование эксплуатационных параметров тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 234–239.
2. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Моделирование скоростных режимов и удельных показателей колесных тракторов на основной обработке почвы // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 81–89.
3. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
4. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 77–81.
5. Селиванов Н.И. Эффективное использование энергонасыщенных тракторов. – Красноярск, 2008. – 228 с.
6. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Адаптация колесных тракторов к технологиям почвообработки // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-19086> (дата обращения: 15.05.2015).
7. Руководство по эксплуатации тракторов Terrion. – URL: <http://www.yugprom.ru/technics/tractors/terrion/terrion-atm-5280.php> (дата обращения: 25.02.2015).
8. Руководство по эксплуатации тракторов John Deere. – URL: <http://mashintop.ru/manual.php?id=378> (дата обращения: 05.02.2015).
9. Руководство по эксплуатации тракторов «Versatil» серии Row Crop (250, 280, 305 л.с.). – URL: <http://mashintop.ru/manual.php?id=378> (дата обращения: 05.02.2015).



УДК 621.311.1

И.В. Наумов, И.В. Ямщикова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ РОССИИ И ГЕРМАНИИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИИ

В статье изложены результаты экспериментальных исследований несимметричных режимов работы электрических сетей напряжением 0,38 кВ в России и Германии, а также представлено техническое средство, повышающее эффективность режимов работы этих сетей.

Ключевые слова: несимметрия, качество, потери, эффективность функционирования, симметрирующее устройство.

I.V. Naumov, I.V. Yamshchikova

THE INCREASE OF THE OPERATING MODE EFFICIENCY OF THE LOW VOLTAGE NETWORKS IN RUSSIA AND GERMANY IN THE ASYMMETRICAL POWER CONSUMPTION

The pilot research results of the asymmetrical operating modes of 0,38 kV electric networks in Russia and Germany are stated, the technical tool increasing the efficiency of these networks operating modes is presented in the article.

Key words: asymmetry, quality, losses, efficiency of functioning, symmetrizing device.

Введение. В настоящее время во всем мире уделяется повышенное внимание вопросам энергосбережения и эффективного использования электрической энергии. В связи с этим разработ-