

ТЕХНИКА, ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ И ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАКТОРОВ СЕРИИ К-744Р НА ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ

Определены рациональные тягово-скоростные режимы использования разных моделей тракторов серии К-744Р на операционных технологиях основной обработки почвы.

Ключевые слова: агрегатирование, обработка почвы, технология, трактор, модель, серия, режим.

N.I. Selivanov, B.H. Zaprudskiy

THE RATIONAL USE OF K-744P SERIES TRACTORS ON THE MAIN SOIL PROCESSING

The rational traction and high-speed modes of K-744P series tractors different model use on the main soil processing operational technologies are defined.

Key words: development of aggregates, soil processing, technology, tractor, model, series, mode.

Введение. Основными показателями технического уровня современных тракторов общего назначения являются производительность Π , удельные топливные g_w и прямые эксплуатационные C_3 затраты почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на их базе, определение которых производится с учетом согласования потенциальной тягово-динамической характеристики трактора и характеристики удельного тягового сопротивления рабочей машины или орудия $K_a(v)$. Для обеспечения минимальных удельных затрат $g_w \rightarrow \min$ и $C_3 \rightarrow \min$ среднее значение номинальной скорости трактора V_n , соответствующее тяговому диапазону $\varphi_{кр\ opt} \leq \varphi_{кр\ n} \leq 0,5 \varphi_{кр\ opt} + \varphi_{кр\ max}$ [1], должно находиться в пределах рационального интервала рабочих скоростей $V_{opt\ i}^* \leq V_n \leq V_{max\ i}^*$ для установленных групп родственных операций основной обработки почвы.

В статье представлены результаты сравнительной оценки адаптации отечественных тракторов высокой мощности (колесной формулы 4к4б) серии К-744Р к зональным технологиям основной обработки почвы, как наиболее энергоемкой и затратной операции при возделывании сельскохозяйственных культур.

С учетом энергоемкости применяемых технологий и технического обеспечения родственных операций основной обработки почвы условно разделены [1] на три группы:

1) отвальная вспашка и глубокое рыхление на глубину 0,21–0,23 м и 0,40–0,50 м соответственно при удельном тяговом сопротивлении $K_{oi}=11\text{--}14$ кН/м, приращении удельного тягового сопротивления в зависимости от скорости $\Delta K_i=0,15\text{--}0,18$ с²/м², коэффициенте вариации $\nu_{Koi}=0,10$ и рациональном интервале рабочих скоростей $V_{opt}^* - V_{max}^* = 1,80\text{--}2,10$ м/с;

2) послеуборочная безотвальная комбинированная обработка (сплошная культивация), дискование и чизелевание на глубину 0,14–0,16 м и до 0,18–0,30 м соответственно при $K_{oi}=4,70\text{--}6,50$ кН/м, $\Delta K_i=0,10$ с²/м², $\nu_{Koi}=0,07$ и $V_{opt}^* - V_{max}^* = 2,10\text{--}2,80$ м/с;

3) послеуборочная поверхностная обработка (лушение стерни), предпосевная обработка, обработка и посев по нулевой технологии при $K_{oi}=3,10\text{--}5,10$ кН/м, $\Delta K_{oi}=0,06$ с²/м², $\nu_{Koi}=0,07$ и $V_{opt}^* - V_{max}^* = 2,80\text{--}3,80$ м/с;

Цель работы – оценка адаптации тракторов серии К-744Р к использованию на операциях основной обработки почвы.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач:

1) обосновать эксплуатационные допуски на скорость рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов для основных групп родственных операций;

2) установить рациональные тягово-скоростные режимы использования разных моделей тракторов серии К-744Р на почвообрабатывающих операциях основных групп;

3) дать сравнительную оценку эффективности использования тракторов разных моделей на основной обработке почвы;

4) определить условия агрегатирования тракторов разных моделей с основными типами почвообрабатывающих машин и орудий.

Условия и методы исследования. Обоснование основных (базовых) значений и интервалов регулирования рабочей скорости трактора производится на заключительном уровне общей системы адаптации с использованием предложенных [1] математических моделей и алгоритмов оптимизации параметров мобильного энергетического средства для конкретных природно-производственных условий.

В условиях вероятностного характера тяговой нагрузки главной выходной координатой трактора как динамической системы является скорость поступательного движения, допустимые значения которой определяют зону его эффективного функционирования при выполнении технологических операций в составе агрегата.

К основным количественным характеристикам эксплуатационных допусков на рабочую скорость трактора относятся [2] установочный допуск на уровень настройки и контрольный допуск или предельные границы скорости рабочего хода (двухсторонние и односторонние).

Номинальное значение рабочей скорости для родственных операций с двухсторонним контрольным допуском можно определить как

$$V_{hi}^* = V_{opt}^* + V_{max\ i}^* \quad (1)$$

Установочный допуск на уровень настройки по номинальной скорости ΔV_{hi} равен алгебраической разности математического ожидания номинальной скорости трактора V_{hi} и величины V_{hi}^*

$$\Delta V_{hi} = V_{hi}^* - V_{hi} = V_{hi}^* - \xi_{N1}^* \cdot V_{hi} \quad (2)$$

Контрольный допуск ΔV представляет собой интервал средних значений скорости, ограниченный V_{opti}^* и V_{maxi}^* при $v_v = v_{mc}$, определяется по формуле

$$\Delta V_i = 0,5 V_{max}^* - V_{opt\ i}^* \approx k\sigma_v, \quad (3)$$

где $V_{maxi}^* = V_{hi}^* + \Delta V_i$ – верхняя граница допуска;
 $V_{opti}^* = V_{hi}^* - \Delta V_i$ – нижняя граница допуска;
 $\pm \Delta V_i$ – поле двухстороннего допуска;
 σ_v – среднее квадратичное отклонение.

Для операций первой группы, с учетом незначительного интервала изменения рабочей скорости $V_{max}^* - V_{opt\ 1}^* = 2,10 - 1,80 = 0,3$ м/с, целесообразно использовать односторонний контрольный допуск с нижней предельной границей V_{opt1}^* и $V_{hi}^* = V_{max1}^*$.

$$\Delta V_1 = V_{max1}^* - V_{opt1}^* \approx 3\sigma_v. \quad (4)$$

Вероятность нахождения среднего значения скорости V_{hi} в зоне двухстороннего допуска при нормальном законе распределения определяется из выражения

$$P_{\Delta} = \Phi\ t_1 - \Phi\ t_2, \quad (5)$$

где $\Phi\ t$ – функция Лапласа;
 $t_1 = (V_{max}^* - V_{hi}^*) / \sigma_v$;
 $t_2 = (V_{opt}^* - V_{hi}^*) / \sigma_v$ – аргументы функции Лапласа.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены эксплуатационные допуски на скорость рабочего хода трактора для выделенных групп родственных операций основной обработки почвы при вероятности ее нахождения в установленных границах не менее 0,95. Измеряемыми и управляемыми в процессе рабочего хода являются частота вращения коленчатого вала n , буксование движителей δ и передаточное число трансмиссии i_{mp} .

Таблица 1

Эксплуатационные допуски на скорость рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов

Группа родственных операций	V_{opt}^* , м/с	V_{max}^* , м/с	V_H^* , м/с	ΔV , м/с	v_v	σ_v , м/с	t	P_Δ
1	1,80	2,10	2,10	-0,30	0,05	0,10	2,30	0,95
2	2,10	2,80	2,45	$\pm 0,35$	0,07	0,171	2,05	0,95
3	2,80	3,80	3,30	$\pm 0,50$	0,07	0,231	2,16	0,95

Критериями оценки адаптации трактора с механической ступенчатой трансмиссией к определенной технологии обработки почвы является обеспечение установочного и контрольного допусков на скорость рабочего хода при условии $\varphi_{кр\,opt} \leq \varphi_{крн} \leq \varphi_{кр} = 0,5 \varphi_{кр\,opt} + \varphi_{кр\,max}$.

Результатами моделирования (табл. 2) установлены наиболее рациональные режимы работы тракторов серии К-744Р на родственных операциях основной обработки почвы разных групп. Для первой группы родственных операций наиболее адаптированным является трактор К-744Р₁, значения номинальной скорости которого $V_H = V_{opt}$ на одинарных и сдвоенных колесах (2,09/2,07 м/с) практически соответствует скорости $V_{H1}^* = 2,10$ м/с, а контрольный допуск $\Delta V_1 = 0,30$ м/с обеспечивается при работе в режиме $\varphi_{кр} \approx \varphi_{кр}$. Вторая передача второго режима (II-2) является основной на этих операциях.

Номинальная скорость тракторов К-744Р_{2/3} на режиме $\varphi_{кр} = 0,41$ на 6–7% превышает скорость V_{H1}^* , а контрольный допуск $-\Delta V_1$ обеспечивается при $\varphi_{кр} \geq \varphi_{кр\,max}$ с превышением допустимого (15%) буксования. Использование этих тракторов при $V_H > V_{H1}^*$ существенно повышает удельные топливные затраты.

Тракторы К-744Р_{2М/3М} в заданном тяговом диапазоне не обеспечивают установленный для операций первой группы скоростной режим работы. Превышение скорости $V_H = V_{\varphi\,кр}$ номинальной V_{H1}^* составляет 27 и 38% соответственно. Располагая высоким энергетическим потенциалом они не приспособлены к выполнению этих операций. Одним из возможных вариантов их адаптации является использование двигателя на частичном скоростном режиме при $n_H' = 1400\text{--}1450$ мин⁻¹.

Таблица 2

Рациональные режимы работы тракторов К-744Р на основной обработке почвы

Группа и вид родственных операций	Показатель	Значения показателей на одинарных / сдвоенных колесах				
		К-744Р ₁	К-744Р ₂	К-744Р ₂ М	К-744Р ₃	К-744Р ₃ М
1. Традиционная технология						
1.1. Вспашка отвальная (<i>h</i> =0,21–0,25 м) 1.2. Глубокое рыхление (<i>h</i> =0,40–0,50 м)	$\varphi_{крн}$	0,37/0,37	0,41/0,41	0,41/0,41	0,41/0,41	0,41/0,41
	$P_{крн}$, кН	54,1/61,3	63,1/71,5	61,2/69,7	70,4/80,1	68,3/78,4
	V_H , м/с	2,09/2,07	2,24/2,21	2,66/2,61	2,26/2,22	2,89/2,77
	$i_{тр\,opt}$	66,5/68,0	62,1/63,8	47,9/50,0	61,5/64,3	44,9/47,3
	Режим	II-2/ II-2	III-2/ III-2	III-3/ III-3	III-2/ II-2	II-4/ II-4
	Передача					
2. Минимальная технология						
2.1. Безотвальная сплошная обработка (<i>h</i> =0,14–0,18 м) 2.2. Дискование стерни (<i>h</i> =0,14–0,18 м)	$\varphi_{крн}$	0,35/0,35	0,37/0,37	0,41/0,41	0,37/0,37	0,41/0,41
	$P_{крн}$, кН	51,2/58,0	56,9/64,5	61,2/69,7	63,5/72,6	68,3/78,4
	V_H , м/с	2,42/2,40	2,70/2,68	2,81/2,77	2,73/2,68	3,00/2,93
	$i_{тр\,opt}$	56,6/59,6	53,5/55,2	46,4/48,3	52,9/53,9	43,5/45,6
	Режим	II-3/ III-2	II-3/ II-3	II-4/ III-3	II-3/ II-3	II-4/ II-4
	Передача					
3. Минимальная и нулевая технологии						
3.1. Поверхностная сплошная обработка стерни (<i>h</i> =0,08–0,12 м) 3.2. Поверхностная сплошная обработка стерни и посев (<i>h</i> =0,014–0,18 м)	$\varphi_{крн}$	0,30/0,30	0,37/0,35	0,37/0,37	0,37/0,35	0,37/0,37
	$P_{крн}$, кН	43,9/49,7	56,9/61,0	61,2/69,7	63,5/68,7	61,7/70,8
	V_H , м/с	2,78/2,78	2,70/2,83	3,13/3,19	2,73/2,81	3,34/3,28
	$i_{тр\,opt}$	51,1/52,6	53,5/52,3	46,1/46,1	52,9/52,3	40,9/42,9
	Режим	III-3/ III-3	II-3/ III-3	II-4/ II-4	III-3/ III-3	III-4/ III-4
	Передача					

На операциях второй группы наиболее эффективными являются тракторы К-744Р₂/Р₃, эксплуатационные параметры которых обеспечивают их функционирование в скоростном интервале ($V_{н2}^* + \Delta V_2$) при $\varphi_{крн} = \varphi_{кр\text{ опт}}$. Недостаточный удельный энергетический потенциал трактора К-744Р₁ позволяет использовать его только в диапазоне тяговых нагрузок при $\varphi_{кр} < \varphi_{кр\text{ опт}}$. В то же время тракторы К-744Р₂М/Р₃М из-за повышенной энергонасыщенности не обеспечивают установленный скоростной интервал ($V_{н2}^* \pm \Delta V_2$) при $\varphi_{крн} = \varphi_{кр}$ без использования частичных скоростных режимов двигателя.

Для операций третьей группы наиболее адаптированными являются тракторы К-744Р₂М/Р₃М с использованием в номинальном тяговом режиме при $\varphi_{крн} = \varphi_{кр\text{ опт}}$. Передачи II-4 и III-4 этих тракторов являются основными. Остальные модели тракторов (особенно К-744Р₁) обладают недостаточным для этих операций удельным энергетическим потенциалом. Поэтому их рабочая скорость выходит за пределы эксплуатационного допуска ($V_{н3}^* - \Delta V_3$). Для обеспечения установленного интервала рабочих скоростей эти тракторы приходится использовать на повышенных скоростях (II-4, III-4) в левой части тягово-динамической характеристики при тяговых усилиях, соответствующих $\varphi_{кр} < \varphi_{кр\text{ опт}}$.

Таблица 3

Рациональные параметры и показатели использования почвообрабатывающих агрегатов на базе тракторов серии К-744Р

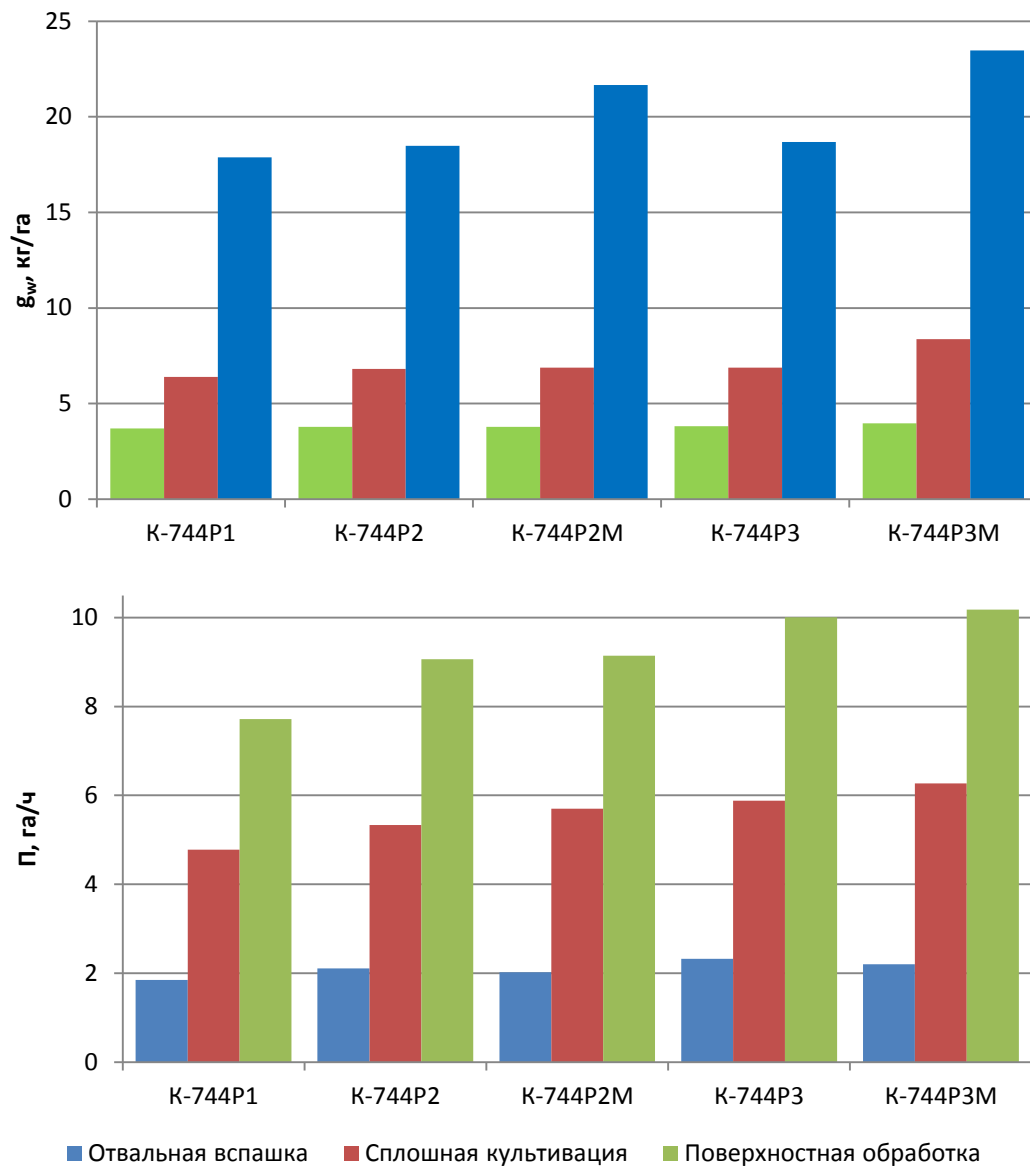
Вид операции	Показатель	Значения показателей одинарные / сдвоенные колеса				
		К-744Р ₁	К-744Р ₂	К-744Р ₂ М	К-744Р ₃	К-744Р ₃ М
Вспашка отвальная ($\bar{K}_0 = 13,6 \text{ кН/м}$, $\Delta \bar{K} = 0,15\text{--}0,18 \text{ с}^2/\text{м}^2$)	$W, \text{ м}^2/\text{с}$	6,08/6,20	7,10/8,05	6,75/7,71	7,92/9,05	7,43/8,57
	$P, \text{ га/ч}$	1,85/2,06	2,11/2,35	2,02/2,27	2,32/2,60	2,20/2,48
	$g_w, \text{ кг/га}$	17,87/15,68	18,48/16,2	21,66/18,98	18,68/16,33	23,47/20,34
	$B_{p\text{ max}}, \text{ м}$	2,90/3,32	3,17/3,64	2,54/2,94	3,50/4,08	2,62/3,09
Безотвальная комбинированная обработка	$W, \text{ м}^2/\text{с}$	1856/21,02	20,88/23,6	22,49/25,59	23,32/26,63	25,08/28,80
	$P, \text{ га/ч}$	4,79/5,36	5,33/5,96	5,70/6,38	5,88/6,61	6,27/7,07
	$g_w, \text{ кг/га}$	6,40/5,65	6,81/6,01	6,88/6,05	6,87/6,02	7,36/6,41
	$B_{p\text{ max}}, \text{ м}$	7,67/8,76	7,33/8,83	8,0/9,24	8,54/9,94	8,36/9,83
Поверхностная комбинированная обработка	$W, \text{ м}^2/\text{с}$	32,0/36,0	37,57/40,90	37,95/43,07	42,07/46,04	42,85/49,02
	$P, \text{ га/ч}$	7,72/8,60	9,06/9,77	9,14/10,22	10,01/10,81	10,18/11,43
	$g_w, \text{ кг/га}$	3,70/3,50	3,78/3,48	3,78/3,38	3,81/3,48	3,96/3,48
	$B_{p\text{ max}}, \text{ м}$	11,5/12,9	13,9/14,6	12,1/13,9	15,4/16,2	12,8/14,9

В таблице 3 и на рисунке приведены рациональные параметры и показатели использования почвообрабатывающих агрегатов для выделенных групп родственных операций с установленными значениями K_{0i} и ΔK_{0i} при обоснованных тягово-скоростных режимах работы тракторов.

Результаты моделирования показали, что наименьший удельный расход топлива достигается при работе агрегатов на базе трактора К-744Р₁, независимо от их технологического назначения. Превышение этого показателя для агрегатов на базе тракторов других типоразмеров зависит от согласованности характеристики и режимов их работы с характеристиками рабочих машин. Минимальное увеличение g_w (2–7%) характерно для тракторов К-744Р₂/Р₃, а максимальное (15–31%) – для К-744Р₂М/Р₃М. При этом наименьшее превышение удельных топливных затрат характерно для третьей группы операций, а наибольшее – для первой группы.

Минимальная техническая производительность характерна для агрегатов на базе трактора К-744Р₁. Наивысшие ее значения достигаются при использовании тракторов К-744Р₃ и К-744Р₃М. Превышение по сравнению с использованием К-744Р₁ составляет 19–32%.

Оснащение тракторов сдвоенными колесами обеспечивает повышение производительности и снижение погектарного расхода топлива на 11–12% и на 9–13% соответственно.



Показатели использования почвообрабатывающих агрегатов на базе тракторов серии K-744P

Полученные результаты сравнительной оценки показателей эффективности почвообрабатывающих агрегатов позволяют рекомендовать предпочтительное использование тракторов серии K-744P на следующих операциях:

- отвальная вспашка и глубокое рыхление – K-744P₁/P₃;
- безотвальная комбинированная обработка – K-744P₂/P₂M/P₃;
- поверхностная обработка – все модели, кроме K-744P₁.

Результаты производственных испытаний почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения на базе трактора K-744P₂ (табл. 4) позволили определить действительные нагрузочно-скоростные режимы работы и показатели эффективности их использования. При этом установлено, что действительные значения показателей тягово-скоростных режимов и эффективности отличаются от потенциальных по результатам моделирования не более чем на 3–5%. Указанное свидетельствует о достаточно высокой достоверности полученных характеристик и оценочных показателей используемой методологии многоуровневой системы оптимизации эксплуатационных параметров почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения для адаптации к производственным условиям.

Таблица 4

Результаты производственных испытаний почвообрабатывающих агрегатов
($r_d = 0,840$ м, $P_m = 0,16$ МПа)

Операция и состав агрегата	Показатели работы (эксперимент/моделирование)								
	Реж. перед.	V_p , м/с	$n_{дв}$, мин ⁻¹	δ , %	$P_{кр}$, кН	W , м ² /с	g_w , кг/га	$\lambda_w = W_q W_m$	$\lambda_{gw} = g_{wq} g_{wm}$
Культивация стерни ($h=0,14-0,16$ м) К-744Р ₂ +АКП «Лидер-7,2» (рыхлительные лапы)	II-3	2,62	1880	12,0	59,5	18,86	7,54	0,970	1,030
	II-3	2,70	1850	10,1	56,9	19,44	7,32		
Дискование стерни ($h=0,14-0,16$ м) К-744Р ₂ +БДМ 6х4ПМ ($\alpha=25^\circ$)	II-3	2,76	1890	8,0	54,8	16,56	8,47	1,022	0,965
	II-3	2,70	1850	10,1	56,9	16,2	8,78		
Поверхностная сплошная обработка стерни ($h=0,10-0,12$ м) К-744Р ₂ +АКП «Лидер-8,4» (плоскорезящие лапы)	II-3	2,80	1900	7,0	53,9	23,52	5,96	1,037	0,951
	II-3	2,70	1850	10,1	56,9	22,68	6,27		
Дискование стерни ($h=0,10-0,12$ м) К-744Р ₂ +БДМ 6х4ПМ ($\alpha=15^\circ$)	II-4	3,41	1905	5,8	44,1	20,46	6,82	1,040	0,945
	II-4	3,28	1850	7,0	46,1	19,68	7,23		

По результатам моделирования и производственных испытаний предложены условия рационального агрегатирования тракторов серии К-744Р с основными типами почвообрабатывающих машин и посевных комплексов в АПК Красноярского края (табл. 5). Указанные условия могут быть положены в основу комплектования почвообрабатывающих агрегатов для реализации зональных операционных технологий основной обработки почвы.

Таблица 5

Рациональное агрегатирование тракторов серии К-744Р с основными типами почвообрабатывающих посевных машин и орудий в АПК Красноярского края

Технологии и типы машин и орудий	Модель, максимальная ширина захвата, м (количество корпусов)				
	К-744Р ₁	К-744Р ₂	К-744Р ₂ М	К-744Р ₃	К-744Р ₃ М
Традиционная					
Плуг полунавесной ПТК 9-35	8к	9к	7к	10к	8к
Плуг оборотный ППО	9к	10к	10к	12к	12к
Плуг чизельный ПЧ	6см	7см	7см	8см	8см
Минимальная					
Дискатор 4-х рядный	6/7м	6/7м	6/7м	7/8м	7/8м
Культиватор КТС	7/8м	7/8м	7/8м	8/10м	8/10м
АКП «Лидер»	7,2/8,5м	7,2/8,5м	7,2/8,5м	8,5/10,8м	8,5/10,8м
Поверхностная обработка и нулевая технология					
АКП «Лидер»	9/10м	10/12м	10/12м	12/14м	10/13м
Посевной комплекс «Кузбасс»	ПК-8,5/9,7	ПК-9,7/9,7	ПК-9,7/9,7	ПК-12,2/12,2	ПК-9,7/12,2
Посевной комплекс «Томь»	Томь-6,3/6,3	Томь-10/10	Томь-10/10	Томь-12/12	Томь-10/12

* В знаменателе для тракторов на двойных колесах.

Выводы

1. Обоснованы эксплуатационные допуски на скорость рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов для основных групп родственных операций и установлены рациональные тягово-скоростные режимы использования разных моделей тракторов серии К-744Р на операционных технологиях основной обработки почвы.
2. На основании сравнительной оценки показателей эффективности использования тракторов разных типоразмеров на обработке почвы обоснованы приоритетные группы операционных технологий их применения.
3. По результатам производственных испытаний и моделирования эксплуатационных параметров почвообрабатывающих агрегатов определены условия рационального агрегатирования разных моделей тракторов серии К-744Р с основными типами рабочих машин в АПК Красноярского края.

Литература

1. Селиванов Н.И. Технологические основы адаптации тракторов. – Красноярск, 2012. – 259 с.
2. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.



УДК 628.81

Р.Ж. Низамутдинов, О.С. Пташкина-Гурина, А.Х. Доскенов

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

По результатам прямого натурного эксперимента и теоретических исследований создана имитационная модель теплонасосной установки в системе отопления, позволяющая воспроизвести функционирование системы во времени при различных сочетаниях условий внешней среды и значений параметров установки.

Ключевые слова: насос тепловой, низкопотенциальная тепловая энергия, прямой натурный эксперимент, имитационное моделирование.

R.Zh. Nizamutdinov, O.S. Ptashkina-Girina, A.Kh. Doskenov

SIMULATION MODEL OF HEAT PUMP EQUIPMENT OPERATION IN HEATING SYSTEM IN THE CHELYABINSK REGION CONDITIONS

According to the results of direct field experiment and theoretical studies the simulation model of heat pump equipment in the heating system is developed. It allows to reproduce the system functioning in time under various combinations of environmental conditions and equipment parameters values.

Key words: heat pump, low-potential heat energy, direct field experiment, simulation modeling.

Одно из основных энергосберегающих мероприятий в системе отопления и горячего водоснабжения не только в мире, но и в России стало внедрение теплонасосных установок, использующих низкопотенциальную энергию грунтов, грунтовых вод и т.п. Использование практически неиссякаемой низкопотенциальной энергии в объектах теплоснабжения обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов.

Челябинская область относится к Уральской зоне аномально низкого (<30 мВт/м²) теплового потока, т.е. не обладает запасами глубинных термальных вод в отличие от соседних регионов (Башкирия, Тюменская область) [1]. Территория горного Урала, являющаяся областью формирования поверхностного и подземного стоков, характеризуется развитием исключительно холодных подземных вод. Температура их до глубины 300–400 м обычно составляет 5–7°C и даже на глубинах до 1000 м не поднимается выше 9°C. В целом по Зауралью зона холодных вод распространена до глубины 450–500 м. Зона слаботермальных вод распространяется до глубин 1100–1200 м с температурами не выше 50°C [2].