

of current agricultural technologies of grain production under the conditions of a steppe zone of the Altai Krai. In M. Fruhauf, G. Guggenberger, T. Meinel, I. Theesfeld, and S. Lentz (Eds.) *Kulunda: Climate smart agriculture, innovations in landscape research* (pp. 341-355) (Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG) DOI: 10.1007/978-3-030-15927-6\_25.

3. Belyaev, V., Sokolova, L. (2021). Soil water regime, yield and grain quality of spring wheat using the direct sowing technology in the steppe zone of Altai Krai. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 659. 012024. Doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012024.

4. Kuznetsov E.E., Shchitov S.V. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniia mobilnykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeleyvaniia selskokhoziaistvennykh kultur: monografiia / E.E. Kuznetsov, S.V. Shchitov; Dalnevost. gos. agrar. un-t. – Blagoveshchensk: Izd-vo Dalnevost. gos. agrar. un-ta, 2017. – 272 s.

5. Iakovlev D.A., Beliaev V.I., Prokopchuk R.E. Sravnitelnaia energootsenka rabochikh organov

posevnykh mashin dlia priamogo poseva v usloviakh razlichnogo uvlazhneniia pochv // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 6 (188). – S. 144-150.

6. Beliaev V.I., Sokolova L.V. Osnovnye napravleniia sovershenstvovaniia selskokhoziaistvennoi tekhniki predpriatii Altaiskogo klastera agrarnogo mashinostroeniia dlia realizatsii sberegaiushchikh tekhnologii vozdeleyvaniia selskokhoziaistvennykh kultur // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 7 (165). – S. 137-147.

7. Beliaev V.I., Sokolova L.V. Perspektivnye agrotekhnologii proizvodstva zerna v Altaiskom krae // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 5-11.

8. Iakovlev D.A., Beliaev V.I., Poliakov G.N. Ratsionalnoe komplektovanie posevnykh mashin rabochimi organami dlia uslovii povyshennogo uvlazhneniia // Informatsionnye tekhnologii, sistemy i pribory v APK: 7-aia Mezhd. nauchn.-prakt. konf.: Novosibirsk-Krasnoobsk, 2018. – S. 497-500.



УДК 631.372:631.51

DOI: 10.53083/1996-4277-2021-203-09-119-126

Н.И. Селиванов, В.В. Аверьянов, Д.В. Уштык

N.I. Selivanov, V.V. Averyanov, D.V. Ushtyk

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА И СОСТАВА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

### MODELING TRACTOR PARAMETERS AND TILLAGE UNIT CONFIGURATION TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF NATURAL AND PRODUCTION FACTORS

**Ключевые слова:** параметр-адаптер, фактор воздействия, длина гона, чистая производительность, типоразмер трактора, состав агрегата.

**Keywords:** adapter parameter, influence factor, run length, net productivity, tractor size, unit configuration.

Цель работы – обоснование модели и алгоритма формирования параметров колесного трактора и состава почвообрабатывающего агрегата с учетом природно-производственных условий. Для оценки влияния природно-производственных условий на параметры трактора и состав агрегата рассмотрели три группы факторов: класс длины гона, определяющий оптимальное значение чистой производительности агрегата на конкретной операции при минимальных эксплуатационных затратах; характеристики тягового сопротивления рабочей машины, формирующие оптимальный скоростной режим работы агрегата; показатели тягово-сцепных свойств трактора, устанавливающие условия эффективного функционирования в режиме рабочего хода. Обосновали расчетную модель, представляющую реакцию многомерной динамической системы на внешние возмущающие, задающие и управляющие воздействия, осуществляющей преобразование по типу вход-выход. Установили взаимосвязи входных воздействий разных групп и выходных параметров системы с использованием обоснованных показателей и критериев оптимизации. Адаптацию к операционным технологиям почвообработки определяют номинальные значения рабочей скорости, установленные по критерию минимума энергозатрат на единицу чистой производительности с учетом ограничений по тягово-сцепным свойствам трактора, обеспечивающих функционирование в зоне максимального тягового КПД. Адаптерами к производственным условиям являются удельные, отнесенные к единице чистой производительности при номинальной скорости, ширина захвата агрегата, эксплуатационная масса и потребная мощность трактора. Производство удельных показателей на оптимальное для заданной длины гона и вида операции, значение чистой производительности определяют параметры трактора и состав агрегата с учетом влияния природно-производственных факторов. Разработали алгоритм оптимизации параметров и обосновали, при коэффициенте адаптации 0,978-0,987, четыре рациональных типоразмера колесных тракторов эксплуатационной мощностью от 135 до 310 кВт с регулируемой массой и состав агрегатов для технического обеспечения технологий почвообработки в основных природно-климатических зонах эксплуатации.

The research goal was to substantiate the model and the algorithm of forming the parameters of a wheeled tractor and the configuration of a tillage unit taking into account the natural and production conditions. To evaluate the influence of natural and production conditions on the parameters of the tractor and the unit configuration, three groups of factors were considered: the class of run length which determined the optimal value of the net productivity of the unit at a particular operation with minimal operating costs; characteristics of the draught resistance of the working machine which formed the optimal speed mode of unit operation; the indices of the drawbar pull and coupling properties of the tractor which determined the conditions for effective functioning in the working mode. We substantiated a computational model representing the response of a multidimensional dynamic system to external disturbances, setting and controlling actions which performed the transformation according to the input-output type. The interrelation of the input actions of different groups and the output parameters of the system were determined using the reasonable indices and optimization criteria. The adaptation to operating tillage technologies is determined by the nominal values of the working speed set according to the criterion of minimum energy consumption per unit of net productivity taking into account the restrictions on the drawbar pull and coupling properties of the tractor ensuring operation in the zone of maximum pulling efficiency. The adapters to the production conditions are specific ones referred to the unit of net productivity at nominal speed, the working width of the unit, the operating weight and the required power of the tractor. The product of specific indices by the optimum for a given run length and type of operation, the value of net productivity determines the parameters of the tractor and the unit configuration taking into account the influence of natural and production factors. The algorithm for optimizing parameters was developed; four rational standard sizes of wheeled tractors with an operating power of 135 to 310 kW with adjustable weight and unit configuration for technical support of tillage technologies in the main natural and climatic zones of operation were substantiated with an adaptation coefficient of 0.978-0.987.

**Селиванов Николай Иванович**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: zaprudskii@list.ru.

**Аверьянов Виктор Владимирович**, аспирант, учебный мастер, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: v-averyanov@bk.ru.

**Уштык Дарина Валерьевна**, учебный мастер, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: valierievna@mail.ru.

**Selivanov Nikolay Ivanovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: zaprudskii@list.ru.

**Averyanov Viktor Vladimirovich**, post-graduate student, Instructor, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: v-averyanov@bk.ru.

**Ushtyk Darina Valeryevna**, Instructor, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: valierievna@mail.ru.

### Введение

Параметры трактора и рабочей машины определяют состав, показатели эффективности

почвообрабатывающего агрегата соответствующего назначения. Главная цель адаптации энергонасыщенных тракторов и агрегатов на их

базе к природно-производственным условиям – обеспечение минимального расхода ресурсов на единицу выполненной работы при заданной производительности и требуемом качестве технологического процесса для получения планируемой урожайности [1, 2].

Для оценки влияния природно-производственных условий на эффективность работы агрегата следует выделить основные факторы, воздействие которых можно учесть при проектировании параметров трактора и рабочей машины. К ним относятся: длина гона  $l_T$ , м; физико-механические свойства почвы, определяющие среднее значение  $\bar{K}_0$  (кН/м) и коэффициент вариации  $\bar{v}_{KO}$  удельного тягового сопротивления рабочих машин разного типа и назначения при  $V_0=1,40$  м/с; зависимость удельного сопротивления  $\Delta K$  от скорости; показатели тягового сцепных свойств  $\varphi$  и  $f$  трактора с учетом компоновочной схемы и типа движителя; кадровый потенциал и сроки выполнения операций. Воздействие указанных факторов определяется их взаимосвязью с показателями, устанавливающими режим рабочего хода и состав агрегата.

**Цель** работы – обоснование модели и алгоритма формирования параметров колесного трактора и состава почвообрабатывающего агрегата с учетом природно-производственных условий.

Поставленная цель достигается решением следующих **задач**:

- 1) обосновать расчетную схему модели формирования параметров трактора и состава агрегата с учетом влияния природно-производственных факторов;
- 2) установить алгоритм оценки факторов воздействия на параметры-адаптеры трактора и состав агрегата;
- 3) определить рациональные типоразмеры тракторов и состав агрегатов для основных природно-климатических зон эксплуатации.

#### Условия и методы исследования

Решение поставленных задач базировалось на основополагающих принципах [3-5] адаптации тракторов с учетом достигнутого уровня технического обеспечения ресурсосберегающих технологий в растениеводстве.

1. Основными техническими средствами реализации операционных технологий почвообработки являются мобильные тяговые агрегаты в составе энергонасыщенных колесных 4к4 трак-

торов установленных классификацией типоразмеров с регулируемыми массозенергетическими параметрами и рабочих машин секционного типа.

2. Воздействие природно-производственных условий на параметры трактора и состав агрегата характеризуют три группы факторов: класс длины гона  $l_T$ , определяющий оптимальное значение чистой производительности  $W_i^*$  агрегата на данной операции при в условиях нарастающего дефицита механизаторов и ограниченных сроков выполнения работ при прямых эксплуатационных затратах  $C_3^*=1,05 \cdot C_3 \text{ min}$ ; характеристики тягового сопротивления рабочей машины  $R_a, \Delta R_a, v_{Ra}$ , формирующие оптимальный режим рабочего хода агрегата; показатели тягово-сцепных свойств трактора  $\varphi, f$ , устанавливающие условия его эффективного функционирования в зоне максимального тягового КПД  $\bar{\eta}_T \approx \eta_{T \text{ max}}$ .

3. Факторы воздействия классифицированы [6] как детерминированные или постоянные ( $l_T, f$ ) и случайные эргодические ( $R_a, \Delta R_a, v_{Ra}$ ), статистические характеристики которых определяются одной реализацией режима рабочего хода конкретного агрегата.

4. Расчетный режим рабочего хода агрегата шириной захвата  $B_{pi}^*$  с заданной глубиной обработки почвы  $h_i$  и номинальной скоростью  $V_{Hi}^*$  по горизонтальной поверхности обеспечивает оптимальную, для конкретного класса длины гона  $l_{Ti}$  и вида операции, чистую производительность  $W_i^* = B_{pi}^* \cdot V_{Hi}^*$ .

5. Выходными параметрами – адаптерами трактора являются эксплуатационная мощность  $N_{e3}^*$  и масса  $m_3^*$ , определяющие состав и показатели качества агрегата, соответствующие расчетному режиму рабочего хода.

#### Результаты исследования

Для оптимизации параметров трактора, состава и режима работы агрегата необходимо получить статистические оценки энергетических и технико-экономических показателей, представляющих реакцию многомерной динамической системы на внешние возмущающие факторы, задающие (ПР) и управляющие (У) воздействия, осуществляющей преобразование по типу вход-выход (рис.) с учетом установленных ограничений.

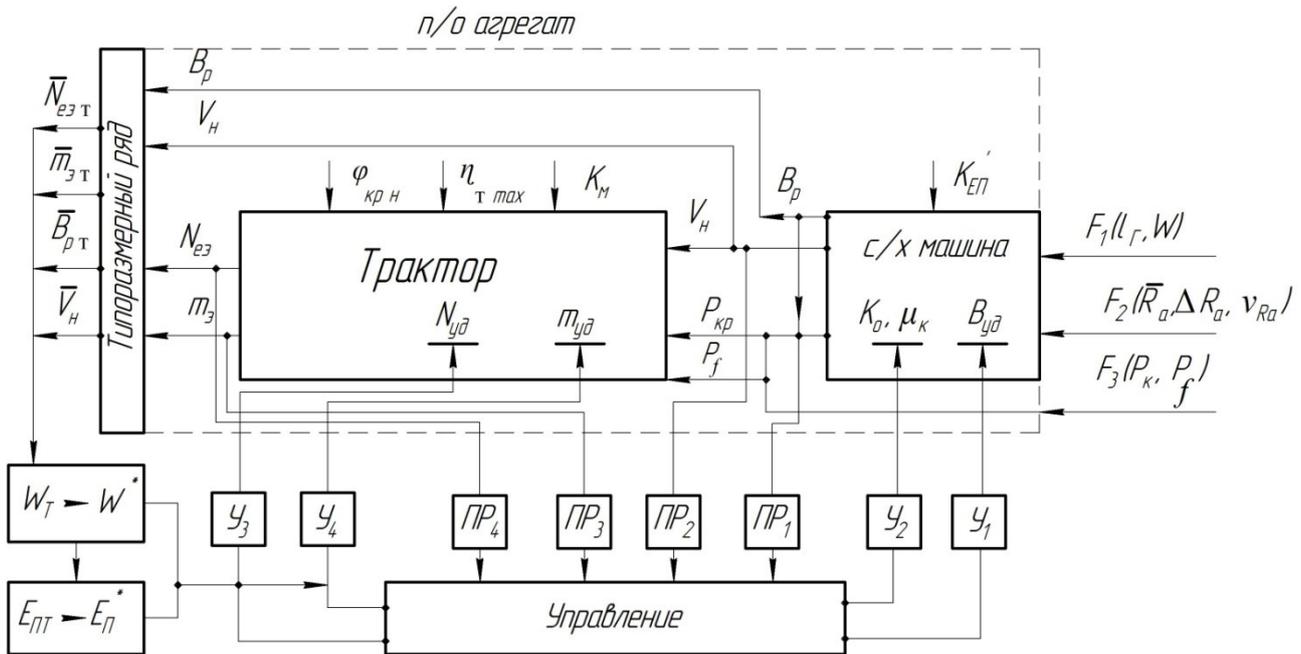


Рис. Динамическая модель почвообрабатывающего агрегата

Входная векторная функция включает разные по природе и характеру воздействия факторы, определяющие условия совместного функционирования трактора и рабочей машины в составе агрегата.

Воздействие длины гона  $l_{Ti}$  характеризует постоянная для группы родственных операций чистая производительность  $F_1(l_{Ti}, W_i^*)$ , которая представляет основной фактор, определяющий ширину захвата  $B_{pi}^*$  рабочей машины (агрегата) при номинальной скорости  $V_{Hi}^*$ . Адаптером А1 агрегата к  $W_i^*$  для каждой операции, независимо от длины гона, является удельная ширина захвата  $B_{уд}^*$ , с/м:

$$\begin{cases} B_{уд i}^* = 1/V_{Hi}^*; \\ B_{pi}^* = W_i^* \cdot B_{уд i}^*. \end{cases} \quad (1)$$

Вторую группу факторов представляют параметры тягового сопротивления агрегата  $F_2(\bar{R}_{a0}, \Delta R_a, v_{Ra})$  при  $\bar{R}_{a0} = \bar{K}_0 \cdot B_p$ ,  $\Delta \bar{R}_a = \Delta \bar{K}$ ,  $v_{Ra} = v_{K0}$  и  $\mu_k = 1 + \Delta K(V - V_0)$  [7, 8], определяющие величину номинального тягового усилия трактора на скорости  $V_H^*$ :

$$P_{крH} = \bar{R}_a^* = \bar{K}_0 \cdot \mu_{кH} \cdot B_p^*. \quad (2)$$

Номинальное значение скорости агрегата  $V_H^*$  зависит от характера изменения удельного сопротивления  $\mu_k(V)$  и определяется из условия минимума энергозатрат на единицу чистой производительности:

$$K'_{ЭП} = \mu_{кH}^2 / V_H \rightarrow \min. \quad (3)$$

Поэтому характеристика удельного сопротивления  $\bar{K}_0 \cdot \mu_k$  рабочей машины представляет внутренний адаптер А2 к технологии почвообработки, определяющий ее выходные параметры  $B_{уд}^*$  и  $V_H^*$ .

Воздействия природно-производственных факторов на трактор определяют выходные параметры рабочей машины  $B_p^*(P_{крH})$  и  $V_H^*$ , формирующие показатели сцепных свойств  $P_k$  и сопротивления качению  $P_f$   $P_k = P_{крH}(R_a^*) + P_f$  с учетом диапазона рабочих скоростей  $F_3(P_k, P_f)$ . Удельными адаптерами трактора к производственным условиям при  $V_H^*$  являются отнесенная к единице производительности потребная мощность  $N_{уд}^*$  (кДж/м<sup>2</sup>) =  $A_3$  и эксплуатационная масса  $m_{уд}^*$  (кг/кВт) =  $A_4$ :

$$\begin{cases} N_{уд}^* = N_{ээ} \cdot \xi_{\bar{N}} / W^* = K_0 \cdot \mu_{кH} / \eta_{Tmax}; \\ m_{уд}^* = m_э / N_{ээ} \cdot \xi_{\bar{N}} = \eta_{Tmax} \cdot 10^3 / \varphi_{крH} \cdot V_H \cdot g. \end{cases} \quad (4)$$

Рациональный тяговый диапазон трактора ( $P_{кр min} - P_{кр max}$ ) определяют критерии оптимизации – интервал изменения коэффициента использования веса  $\varphi_{кр min} \leq \varphi_{крH} < \varphi_{кр max}$ , соответствующий максимальному значению тягового КПД  $\eta_{Tmax}$ , и коэффициент использования мощности двигателя  $\xi_{\bar{N}}$  в условиях вероятностного характера тягового сопротивления при установленном коэффициенте приспособляемости  $K_M$  и  $v_{K0} = 0,10-0,11$  [3]:

$$\xi_{\bar{N}} = 0,755 + 0,550(K_M - 1). \quad (5)$$

Таким образом, входные воздействия и выходные параметры рабочей машины и трактора, определяющие состав агрегата, связаны удельными адаптерами (операторами) с установленными ограничениями по энергетическим и агроэкологическим требованиям, учитывающими их конструктивно-технологические и динамические свойства.

Удельные параметры-адаптеры рабочей машины  $A_1(Y_1)$ ,  $A_2(Y_2)$  и трактора  $A_3(Y_3)$ ,  $A_4(Y_4)$  представляют управляющие воздействия на выходные параметры  $V_H$ ,  $B_p$ ,  $N_{e3}$  и  $m_3$ , определяющие оптимальный состав и режим рабочего хода агрегата. Управление производится на основе принимаемых решений  $ПР_i$  по отклонению в пределах заданных оптимальных интервалов их изменения. Указанное достигается комбинированием систем ручного и автоматического управления с перспективой использования в дальнейшем последних.

Эксплуатационные параметры трактора и состав агрегата для операций почвообработки каждой группы определяются производением удельных показателей и оптимальных значений чистой производительности при соответствующем классе длины гона:

$$\begin{cases} B_p^* = W^* \cdot B_{уд}; \\ P_{крн}^* = W^* \cdot K_o \cdot \mu_{кн} / V_H^*; \\ N_{e3}^* = W^* \cdot K_o \cdot \mu_{кн} / \eta_{т max} \cdot \xi_{\bar{N}}^*; \\ m_3^* = W^* \cdot K_o \cdot \mu_{кн} / g \cdot \varphi_{крн} \cdot V_H^*. \end{cases} \quad (6)$$

С учетом характеристик удельных параметров значения потребной  $(\xi_{\bar{N}} \cdot N_{e3})^*$  и эксплуатационной  $N_{e3}$  мощности трактора на операциях каждой группы при  $l_T = const$  отличаются не более чем на 12% и находятся в пределах одного мощностного разряда [4]. Поэтому в качестве основного параметра-адаптера трактора целесообразно использовать осредненное, с учетом занятости по времени  $T_i$ , значение  $\bar{N}_{e3}$ :

$$\bar{N}_{e3}^* = \frac{1}{T_o \cdot \xi_{\bar{N}}} \sum_3 (\xi_{\bar{N}} \cdot N_{e3})_i^* \cdot T_i^o. \quad (7)$$

При известных соотношениях площадей пашни, обработанных по разным технологиям  $F_i^o = F_i / F_{п}$ ,  $T_o = \sum_1^3 T_i^o$  и сменной производительности  $\Pi_i = W_i \cdot \tau$

$$T_i^o = F_i^o / W_i \cdot \tau_i = \frac{F_i^o \cdot (\bar{K}_o \cdot \mu_{кн})_i}{(\xi_{\bar{N}} \cdot N_{e3})_i^* \cdot \eta_{т max} \cdot \tau_i}. \quad (8)$$

Максимальное  $\bar{m}_{3 max i}$  и минимальное  $\bar{m}_{3 min i}$  значения эксплуатационной массы

установленного для длины гона  $l_{Ti}$  типоразмера трактора

$$\begin{cases} \bar{m}_{3 max i} = (\xi_{\bar{N}} \cdot \bar{N}_{e3})_i^* \cdot m_{уд 1}^*; \\ \bar{m}_{3 min i} = (\xi_{\bar{N}} \cdot \bar{N}_{e3})_i^* \cdot m_{уд 3}^*. \end{cases} \quad (9)$$

Разность  $(\bar{m}_{3 max i} - \bar{m}_{3 min i}) = m_{Б max i}$  определяет максимальную массу съемного балласта и ее удельную величину  $m_{Б уд i}^* = m_{Б max i} / (\xi_{\bar{N}} \cdot \bar{N}_{e3})_i^*$  при базовом значении  $m_{3 min}$  для операций третьей группы. Диапазон изменения мощности  $\bar{N}_{e3}$  характеризуется величина  $\xi_{\bar{N}}$ . С учетом состояния и перспективы формирования инновационного тракторного парка следует принять  $\xi_{\bar{N}}^* = 0,82-1,00$ . Меньшие значения соответствуют  $K_{M min} \leq 1,15$ , а максимальные характерны для дизелей постоянной мощности (ДПМ) с  $K_M > 1,40$  [1, 9].

В качестве оценочного критерия адаптации трактора, установленного по результатам моделирования типоразмера, к природно-производственным условиям приняты относительные показатели производительности для каждой операции  $\bar{W}_i^o = \bar{W}_i / W_i^*$  и их произведение:

$$\bar{W}^o = W_1^o \cdot W_2^o \cdot W_3^o. \quad (10)$$

Значения  $\bar{W}_i$  берутся для рекомендованного типоразмера трактора, а  $W_i^*$  – для оптимального варианта.

Алгоритм обоснования рациональных типоразмеров колесных тракторов и состава почвообрабатывающих агрегатов, с учетом зональных природно-производственных условий, включает: оценку природно-производственных условий ( $l_{Ti}(W_i^*)$ ,  $F_i^o$ ,  $\bar{K}_{a o}$ ,  $f$ ,  $\bar{K}_{o i}$ ,  $\Delta \bar{K}_{o i}$ ,  $v_{KO}$ ,  $\varphi_{крн}$ ,  $\eta_{т max}$ ,  $K_M$ ,  $\xi_{\bar{N}}$ ); определение параметров-адаптеров ( $B_{уд i}^*(1)$ ,  $V_H^*(3)$ ,  $N_{уд i}$ ,  $m_{уд i}^*(4)$ ,  $B_p^*(i)$ ,  $N_{e3 i}$ ,  $m_{3 i}^*(6)$ ,  $\bar{N}_{e3 i}^*(7)$ ,  $T_i^o(8)$ ,  $\bar{m}_{3 i}^*(9)$ ,  $\bar{W}_i^o(10)$ ).

Удельные параметры-адаптеры являются выходными для агрегата шириной  $B_{уд}$  и производительностью  $W_{уд} = 1,0 \text{ м}^2/\text{с}$  при скорости  $V_H$  (табл. 1). Значения  $B_{уд}$ ,  $N_{уд}$  и  $m_{уд}$  на операциях почвообработки разных групп [3, 4] при  $\eta_{т max}$ ,  $\bar{\varphi}_{крн} \approx i dem$  и удельном сопротивлении скоростных плугов  $\bar{K}_{a o} = \bar{K}_o / h = 54 \text{ кН/м}^2$  определяются величиной  $\bar{K}_o$  и зависимостью  $\mu_{к}(V)$  рабочих машин. Поэтому значения удельных параметров трактора и агрегата для операций каждой группы остаются постоянными при изменении длины гона.

Таблица 1

**Критерии оптимизации и удельные параметры-адаптеры колесных тракторов и агрегатов к технологиям почвообработки**

Группа операции	$\bar{V}_H^*$ , м/с	$\bar{K}_O$ , кН/м	$\mu_{кн}^*$	$K'_{ЕП}$ , с/м	$B_{уд}^*$ , с/м	$\varphi_{крн}$	$\bar{\eta}_{Tmax}$	$\bar{m}_{уд}$ , кг/кВт	$\bar{N}_{уд}$ , кДж/м <sup>2</sup>
1. Отвальная вспашка скоростными плугами ( $h = 0,21-0,23$ м) и глубокое рыхление ( $h = 0,30-0,40$ м)	2,50	11,45	1,154	0,533	0,400	0,40-0,41	0,660	67,3	20,02
2. Безотвальная комбинированная обработка ( $h = 0,12-0,18$ м)	2,80	6,80	1,165	0,484	0,357	0,39-0,40	0,660	61,6	12,00
3. Поверхностная комбинированная обработка ( $h = 0,06-0,12$ м) и посев	3,33	4,75	1,228	0,453	0,300	0,37-0,39	0,658	54,5	8,86

Рациональные типоразмеры колесных тракторов для характерных классов длины гона в АПК Красноярского края определены с учетом интервала  $N_{e\min}^* (\xi_{\bar{N}_{max}} = 1,0) - N_{e\max}^* (\xi_{\bar{N}_{min}} = 0,82 - 0,92)$ . При  $l_T > 1000$  м  $\bar{N}_{e\bar{z}}^* = 285-310$  кВт и  $\bar{m}_3^* = 15530-19160$  кг соответствуют типоразмеру 6.9 на операциях 2-й и 3-й групп и 8.9 с  $m_{3\max}$  при работе со скорост-

ными плугами (табл. 2). Средней по региону длине гона  $\bar{l}_T = 600-1000$  м соответствуют значения  $\bar{N}_{e\bar{z}}^* = 240-285$  кВт при  $\bar{m}_3^* = 13060-16150$  кг, характерные для типоразмера 6.9. Они представляют одновременно нижний уровень рациональных параметров для  $\bar{l}_T = >1000$  м. Аналогично формируются дополнительные типоразмеры тракторов для других классов длины гона.

Таблица 2

**Рациональные типоразмеры колесных тракторов и состав почвообрабатывающих агрегатов для природно-климатических зон эксплуатации**

Длина гона, м	Группа операции	$W^*$ , м <sup>2</sup> /с	$B_p^*$ , м	$(\xi_{\bar{N}} \cdot N_{e\bar{z}})^*$ , кВт	$m_3^*$ , кг	$\bar{N}_{e\bar{z}}^*$ , кВт	$\bar{m}_3^*$ , кг	$\tau$	$\bar{B}_p^*$ , м	$W_i^0$	$\bar{W}^0$
>1000	1	14,90	5,96	298,0	20256	285-310	19180	8.9	5,70	0,956	0,985
	2	22,91	8,18	275,0	16940		17556	6.9	8,50	1,00	
	3	32,92	9,89	291,7	15896		15530	6.9	9,65	0,977	
600-1000	1	11,92	4,77	239,0	16085	240-285	16150	6.8	4,80	1,00	0,980
	2	20,83	7,44	250,0	15400		14785	6.8	7,15	0,960	
	3	25,81	7,75	228,7	12463		13080	5.8	8,15	1,00	
400-600	1	9,41	3,76	188,4	12680	195-240	13125	5.7	3,90	1,00	0,985
	2	15,82	5,65	189,8	11695		12010	5.7	5,65	1,00	
	3	22,97	6,90	203,5	11092		10625	4.7	6,60	0,958	
300-400	1	8,16	3,26	163,4	10995	160-195	10770	4.6	3,20	0,979	0,978
	2	12,92	4,61	155,2	9558		9860	4.6	4,60	1,00	
	3	19,11	5,74	169,3	9228		8720	3.6	5,40	0,945	
200-300	1	6,28	2,51	125,7	8460	135-160	9085	3.6	2,70	1,00	0,987
	2	10,41	3,72	124,9	7596		8315	3.6	4,00	1,00	
	3	15,83	4,75	140,3	7644		7360	3.6	4,60	0,962	

Для минимальной длины гона 200-300 м (зона тайги) рациональные параметры трактора составляют  $\bar{N}_{\text{еэ}}^* = 135-160$  кВт при  $\bar{m}_3^* = 7080-8750$  кг соответствуют типоразмеру 3.6. Дополнительный уровень при  $\bar{N}_{\text{еэ}}^* = 100-135$  кВт при  $\bar{m}_3^* = 5450-6730$  кг соответствует типоразмеру 2.5.

Таким образом, каждому классу длины гона соответствует свой типоразмер колесного трактора с регулируемой массой и оптимальный состав агрегатов шириной захвата  $\bar{B}_p^*$  для выполнения операций почвообработки разных групп.

Результаты моделирования показали, что степень адаптации тракторов каждого из четырех основных типоразмеров мощности, при регулировании эксплуатационной массы балластированием в установленных интервалах, составляет 0,978-0,987. Указанное достигается использованием модельных рядов энергонасыщенных колесных тракторов основных производителей, адаптированных к зональным условиям.

### Выводы

1. Обоснована расчетная схема динамической модели формирования параметров трактора и состава почвообрабатывающего агрегата с учетом влияния трех групп характерных факторов природно-производственных условий и управляющих воздействий при установленных критериях оптимизации.

2. Установлены взаимосвязи разных групп входных воздействий и выходных параметров системы, с обоснованием численных характеристик критериев оптимизации и удельных параметров-адаптеров колесного трактора и агрегата к операционным технологиям почвообработки.

3. Разработан алгоритм оптимизации и обоснованы, при коэффициенте адаптации 0,978-0,987, четыре основных типоразмера колесных тракторов мощностью от 135 до 310 кВт с регулируемой массой и состав агрегатов для технического обеспечения операционных технологий почвообработки в основных природно-климатических зонах эксплуатации АПК Красноярского края.

### Библиографический список

1. Селиванов, Н. И. Технологическая адаптация колесных тракторов / Н. И. Селиванов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 216 с. – Текст: непосредственный.
2. Самсонов, В. А. Расчет показателей трактора с учетом влияния природно-производственных факторов / В. А. Самсонов. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 4. – С. 21-25.
3. Селиванов, Н. И. Параметры-адаптеры колесных тракторов и агрегатов к зональным технологиям почвообработки / Н. И. Селиванов, Ю. Н. Макеева, В. В. Аверьянов. – Текст: непосредственный // Вестник Омского государственного аграрного университета. – Омск, 2019. – № 1. – С. 147-155.
4. Selivanov, N., Averyanov, V., Zaprudsky, V., Kuznetsov, A., Makeeva, Yu. (2020). Parameters-adapters of wheeled tractors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 548. 062009. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062009.
5. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В. А. Самсонов, А. А. Зангиев, Ю. Ф. Лачуга, О. Н. Дидманидзе. – Москва: Колос, 2000. – 248 с. – Текст: непосредственный.
6. Лурье, А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов А. Б. Лурье. – Москва: Колос, 1970. – 376 с. – Текст: непосредственный.
7. Иофинов, С. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С. А. Иофинов, Г. П. Лышко. – Москва: Колос, 1984. – 351 с. – Текст: непосредственный.
8. Зангиев, А. А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, Г. П. Лышко, А. Н. Скороходов. – Москва: Колос, 1996. – 320 с. – Текст: непосредственный.
9. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – Москва: Колос, 2004. – 504 с. – Текст: непосредственный.

## References

1. Selivanov, N.I. Tekhnologicheskaya adaptatsiya kolesnykh traktorov / N.I. Selivanov; Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnoyarsk, 2017. – 216 с.
2. Samsonov, V.A. Raschet pokazatelei traktora s uchetom vliyaniya prirodno-proizvodstvennykh faktorov / V.A. Samsonov // Traktory i selkoxozyaystvennyye mashiny. – 2007. – No. 4. – S. 21-25.
3. Selivanov, N.I. Parametry-adaptery kolesnykh traktorov i agregatov k zonalnym tekhnologiyam pochvoobrabotki / N.I. Selivanov, Iu.N. Makeeva, V.V. Averianov // Vestnik Omskogo GAU. – 2019 – No. 1. – S. 147-155.
4. Selivanov, N., Averyanov, V., Zaprudsky, V., Kuznetsov, A., Makeeva, Yu. (2020). Parameters-adapters of wheeled tractors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 548. 062009. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062009.
5. Samsonov, V.A. Osnovy teorii mobilnykh selkoxozyaystvennykh agregatov / V.A. Samsonov, A.A. Zangiev, Iu.F. Lachuga, O.N. Didmanidze. – Moskva: Kolos, 2000. – 248 s.
6. Lure, A.B. Statisticheskaya dinamika selkoxozyaystvennykh agregatov / A.B. Lure. – Moskva: Kolos, 1970. – 376 s.
7. Iofinov, S.A. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka / S.A. Iofinov, G.P. Lyshko. – Moskva: Kolos, 1984. – 351 s.
8. Zangiev, A.A. Proizvodstvennaya ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka / A.A. Zangiev, G.P. Lyshko, A.N. Skorokhodov. – Moskva: Kolos, 1996. – 320 s.
9. Kutkov, G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoystva / G.M. Kutkov. – Moskva: Kolos, 2004. – 504 s.

