

14. Аникин, Н.В. Пути решения проблем в организации городского движения/ Н.В. Аникин, К.П. Андреев, В.В. Терентьев // Воронежский научно-технический Вестник. – 2020. – Т. 2. – № 2 (32). – С. 109-119.

15. Общие аспекты в разработке проекта организации дорожного движения/ А.А. Меркулов, А.В. Шемякин, В.В. Терентьев, К.П. Андреев // Грузовик. – 2019. – № 2. – С. 30-32.

16. Шемякин, А.В. Навигационные системы мониторинга/ А.В. Шемякин, В.В. Терентьев, К.П. Андреев // Сб.: Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2017 : Материалы 6-й Международной молодежной научной конференции. – 2017. – С. 197-199.

**УДК 631.3.072**

*Дорохов В.Е.,  
Непарко Т.А., к.т.н.  
УО БГАТУ, г. Минск, РБ*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

Работы по возделыванию, уборке и послеуборочной переработке урожая сельскохозяйственных культур можно механизировать с использованием различных наборов машин. По-разному могут быть распределены и работы между агрегатами. При этом, как правило, будут различными и затраты на производство продукции растениеводства. Поэтому для каждого сельскохозяйственного предприятия из всего разнообразия технологических и технических решений должны быть выбраны такие варианты, которые обеспечивают максимальную эффективность производства.

Необходимо отметить, что большинство показателей, характеризующих работу машинно-тракторных агрегатов (МТА), не могут быть оценены однозначно. Так, повышение скорости движения агрегата, обеспечивающее повышение производительности труда, сопровождается как интенсивным ростом тягового сопротивления, так и непропорциональным увеличением затрат мощности на самопередвижение агрегата. Эксплуатационная масса трактора, способствующая при ее рациональном распределении повышению тягово-сцепных свойств, при повышении ее значения негативно сказывается на удельном давлении на почву. Оснащение трактора средствами нормализации микроклимата в кабине, устройствами автоматизации рабочего процесса влечет за собой повышение его стоимости, однако в совокупности способствует повышению производительности труда [1].

При системном подходе к выбору рационального состава и режимов работы МТА для оценки альтернативных вариантов возникает необходимость обоснования четких критериев. Проблема состоит в том, что каждый из частных критериев достигает своего лучшего значения при различных сочетаниях характеристик системы. Возможно также наличие противоречивых

критериев, когда смена характеристик системы с целью улучшения одного из них вызывает ухудшение другого [2].

В общем виде математическая модель многокритериальной задачи формирования рациональной системы машин может быть описана выражением:

$$MM = \langle n, V, U, L, H, f \rangle, \quad (1)$$

где  $n$  – тип многокритериальной задачи;

$V$  – множество вариантов оцениваемых характеристик системы;

$U$  – множество критериев, по которым оценивается система;

$L$  – шкала оценок по каждому критерию;

$H$  – система приоритетов выбора лица принимающего решение;

$f$  – правило решения, которое на множестве вариантов  $V$  задает отношение к системе приоритетов  $H$ .

Обобщенную оценку рационального состава МТА дает возможность производить метод многокритериального выбора агрегатов из выходного множества альтернативных вариантов [3]. В тоже время применение метода Парето при формировании выходного множества альтернативных вариантов позволяет выйти на эффективную границу с использованием всех критериев по принципу доминирования, т.е. объединяет варианты, которые доминируют над остальными и не имеют доминирования над собой. Эффективные (Парето-оптимальные) варианты оцениваются вектором критериев:

$$u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, \quad u_i \in U, i = 1, \dots, n.$$

Возможность обоснования идеала и оценку меры приближения к нему каждого из вариантов выходного множества альтернативных вариантов дает метод многокритериального выбора по интегральному критерию удаления от цели. При этом идеальный вариант характеризует такую систему, для которой каждый из критериев достигает своего потенциально возможного лучшего значения. Такие значения могут быть обоснованы теоретически или отвечать лучшим реально достигнутым величинам.

Интегральный критерий удаления от цели  $\mu_j$  можно определить как отношение площадей многоугольников

$$\mu_j = \frac{P_j}{P_o}, \quad \mu \geq 1, \quad (2)$$

где  $P_j, P_o$  – площади многоугольников  $j$ -го и идеального вариантов, построенные на значениях критериев соответственно.

Преобразование критериев в безразмерные величины путем нормирования, нормирующими делителями принимая значения критериев идеального варианта  $(u_{io})$ , позволяет использовать показатели, характеризующие производственные факторы с различной размерностью и диапазоном изменения.

В этом случае интегральный критерий удаления от цели можно определить, как по формуле (1), в которой площади многоугольников выражены значениями нормированных критериев, так и через относительное удаление от цели:

$$\mu'_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^H - \sum_{i=1}^n u_{io}^H}{\sum_{i=1}^n u_{io}^H} = \frac{\sum_{i=1}^n u_{io}^H}{N} - 1.$$

Оценку функционирования сложной системы обычно производят при помощи количественно выраженных характеристик. При этом каждая из числовых характеристик в соответствии с теорией сложных систем должна удовлетворять трем условиям: представлять собой величину, зависящую от процесса функционирования системы, которую по возможности просто вычислить, исходя из математического описания системы; давать представление о свойствах системы; допускать, в пределах возможного, простую приближенную оценку по экспериментальным данным [4].

Добиться повышения эффективности производства сельскохозяйственных культур можно путем формирования такой системы машин, которая позволит повысить эффективность использования всех видов ресурсов, снижая уровень вредных воздействий на почву и окружающую среду за счет повышения:

- уровня использования времени выраженного через коэффициент использования времени смены в сменной производительности машинно-тракторного агрегата;
- показателя полноты использования материалов за счет снижения эксплуатационной материалоемкости, учтенной в коэффициенте полезного использования технических средств;
- показателя полноты использования энергии за счет снижения расхода топлива, учтенного в показателе уровня использования невозобновляемых источников энергии;
- уровня использования денежных средств за счет снижения эксплуатационных затрат, учтенных через коэффициент полезного использования основных и оборотных фондов;
- уровня использования трудовых ресурсов за счет снижения затрат труда.

А также снижения давления ходовых систем на почву за счет уменьшения индекса давления агрегатов на почву.

Перечисленные критерии, кроме сменной производительности, минимизируются. Для удобства процедуры принятия решений вместо производительности целесообразно использовать показатель относительного числа нормо-смен:

$$N_{D_{\text{опт}}} = \frac{F}{W_{\text{см}} D_{\text{опт}}} = \frac{N_{\text{см}}}{D_{\text{опт}}}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{см}}$  – количество нормо-смен.

В связи с тем, что площадь участка  $F$  и оптимальное количество дней  $D_{\text{опт}}$  при выполнении технологической операции – величины постоянные, то

критерий  $N_{D_{\text{опт}}}$  зависит только от производительности МТА  $W_{\text{см}}$ . Эта зависимость обратно пропорциональная и, следовательно, критерий  $N_{D_{\text{опт}}}$ , как и все остальные, подлежит минимизации.

Поскольку определение области эффективного использования тех или иных агрегатов экспериментальным путем требует больших затрат времени, труда и средств и не всегда возможно и экономически оправдано, то определение такой области желательно произвести расчетным путем, используя математическое моделирование, основанное на теории исследования операций и позволяющее описать все основные связи, характеризующие производственный процесс. С этой целью нами разработан алгоритм выбора рационального состава и режимов работы машинно-тракторных агрегатов, реализованный с помощью программных средств для ПЭВМ. Таким образом, моделируя процесс обработки конкретных участков полей агрегатами на базе различных тракторов и сельскохозяйственных машин по интегральному критерию относительного удаления от цели, выбираем рациональные варианты состава машинно-тракторных агрегатов и режимы их работы, позволяющие выполнить весь объем работ в агротехнологически допустимые сроки при минимальных ресурсозатратах.

По данной методике нами был произведен выбор рационального состава и режима работы пахотных агрегатов на вспашке стерни зерновых на дерново-подзолистых почвах с удельным сопротивлением плуга 54–59 кПа с учетом изменения длины гона и соответствующего сочетания пахотных агрегатов на базе тракторов класса 5, 3, 2 и 1,4. Расчеты произведены для пяти значений длины гона: 200, 300, 400, 632 (средняя для Республики Беларусь) и 1000 м. Исследованиями ученых установлено, что между размерами пахотных участков и длинами гонов существует тесная корреляционная связь, т.е. малым площадям участков соответствуют малые длины гонов и, наоборот. В связи с этим, для комплексной оценки пахотных агрегатов приняты следующие значения площадей одного поля: 3,2; 7,2; 12,8; 28,8 и 80 га, соответствующие приведенным выше длинам гонов. Аналогичные оценки пахотных агрегатов произведены для почв с удельным сопротивлением плуга 42–47 кПа.

Анализируя результаты расчетов, следует отметить, что при длине гона до 200 м оптимальным по интегральному критерию удаления от цели является агрегат Беларусь-800+ПЛН-3-35 (0,20), при этом на супесчаных почвах обобщенный показатель улучшается на 30% (0,14). При увеличении длины гона более эффективен агрегат Беларусь 3022+ППН-9-35, обобщенный показатель которого, начиная с длины гона 201–300 м, улучшается на 35% на суглинистых и на 55% на супесчаных почвах и достигает своего наилучшего значения при длине гона 1000 м (0,15).

Повышение производительности и снижение расхода топлива пахотных агрегатов вызвано снижением тягового сопротивления агрегата, увеличением рабочей скорости движения, коэффициента использования времени смены и коэффициента загрузки двигателя по мощности. Это ведет к улучшению

оцениваемых показателей и, как следствие, снижению показателей идеального варианта, что в свою очередь влечет за собой изменение ранжирования пахотных агрегатов.

Разработанные алгоритм и программа расчета на ПЭВМ положены нами в основу выбора рационального состава и режимов работы МТА в природно-производственных условиях Республики Беларусь и конкретных условиях сельскохозяйственных предприятий.

Сравнение полученных результатов математического моделирования с экспериментальными для одних и тех же природно-производственных условий показывает их достаточно хорошую сходимость. Для всей области варьирования факторов доверительные интервалы включают теоретические показатели, а максимальное расхождение расчетных и опытных данных не превышает 2,3%, что вполне достаточно для инженерных расчетов.

### *Библиографический список*

1. Непарко, Т.А. Повышение эффективности производства картофеля обоснованием рациональной структуры состава применяемых комплексов машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук/ Т.А. Непарко. – Минск : БГАТУ, 2004.

2. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур – решающий фактор в снижении затрат производственных ресурсов/ И.Н. Шило, Т.А. Непарко, Д.А. Жданко // Агропанорама. – 2020. – № 5 (141). – С. 35-39.

3. Нагірний, Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень/ Ю.П. Нагірний.– Київ : Урожай, 1994. – С.167-175.

4. Непарко, Т.А. Прогнозирование рационального состава машинно-тракторных агрегатов/ Т.А. Непарко // Агропанорама. – 2004. – № 2. – С. 30-36.

5. Математическая модель технологического процесса картофелеуборочного комбайна при работе в условиях тяжелых суглинистых почв / Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев, Г.К. Рембалович и др. // Вестник РГАТУ. – 2014. – № 4. – С. 59-64.

6. Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях/ Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев, И.А. Успенский и др. // Вестник РГАТУ. – 2012. – № 4 (16). – С. 87-90.

7. Инновационные решения уборочно-транспортных технологических процессов и технических средств в картофелеводстве/ Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 1. – С. 23-25.

8. Шемякин, А.В. Навигационные системы мониторинга/ А.В. Шемякин, В.В. Терентьев, К.П. Андреев // Сб.: Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2017 : Материалы 6-й Международной молодежной научной конференции. – 2017. – С. 197-199.