

ОПТИМИЗАЦИЯ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Р. Н. Дидманидзе, Н. А. Майстренко, Д. Ю. Фролова,
А. А. Вехов**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье отмечается целесообразность обоснования рационального энергосбережения в системном виде на примере оптимизации одного вида использования МТА, так как изменение каждого из параметров по-разному влияет на показатели качества. Применение методов моделирования позволяет определить рациональное сочетание между показателями качество и эффекта работы.*

***Ключевые слова:** растениеводство; технология; менеджмент качества; моделирование технологических процессов; алгоритм производства продукции; корректировка показателей качества.*

OPTIMIZATION OF MACHINE USE

R. N. Didmanidze, N. A. Maistrenko, D. Yu. Frolova, A. A. Vekhov
*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation*

***Abstract.** The article notes the expediency of justifying rational energy saving in a systematic way, for example, optimizing one type of MTA use, since changing each of the parameters affects quality indicators in different ways. The use of modeling methods allows us to determine a rational combination between the indicators of quality and the effect of work.*

***Keywords:** plant growing; technology; quality management; technological process modeling; production algorithm; quality indicators adjustment.*

В растениеводстве полевые механизированные работы осуществляются машинно-тракторными агрегатами (МТА). Результат применения каждого из них характеризуется продолжительностью, качеством и эффектом. Следовательно, понимается качество как состояние, эффект – как объём работы. Вместе они трактуют – целесообразность соблюдения долевого соотношения между

механическими, качественными и экономическими показателями применения МТА.

Соблюдение такого обстоятельства обусловлено сложностью нивелирования изменений внешних условий. А именно, в каких случаях этого следует достигать варьированием параметров конструкции рабочих органов машины, или режимов движения МТА.

К тому же затруднительно практически реализовать обоснованное для заданных условий сочетание ширины захвата B и скорости движения агрегата V . Так как изменение каждого из параметров по-разному влияет на изменение конкретного показателя качества. Данное положение не позволяет расширить диапазон применения агрегата и в полной мере использовать его энергетические возможности.

Применение методов моделирования технологического равновесия позволяет определить рациональное сочетание между показателями качества и эффекта работы. Изначально предлагается исследовать взаимосвязи показателей и факторы, изменяющие эти связи. Затем установить зависимость ценовой функции от оптимизируемых параметров. Подобрать способ поиска экстремума критерия с учётом ограничений.

Базовые параметры машиноиспользования B и V взаимосвязаны. Необходимо установить раздельное влияние каждого из них на показатели качества P_k , финансирования C_{Π} и производительности Π .

Связь между взаимозависимыми параметрами B и V устанавливается на основе законов механики из мощностного баланса упрощённой формулой: $B \cdot V = N \cdot \varepsilon_N / P_N$. Из которой следует, что для конкретного состава МТА мощностью N каждое сочетание B и V влияет на допустимый уровень загрузки двигателя ε_N и на удельные (на единицу объёма работы) энергозатраты P_N . Они, в свою очередь, обусловлены внешними условиями, видом работы, особенностями конструкции рабочих машин и типом движителей энергомашины.

Данные факторы, в целом, учитываются общим удельным тяговым сопротивлением машины K_a и тяговым КПД энергомашины η_T . Из их соотношения определяются численные значения удельных энергозатрат $P_N = K_a / \eta_T$ и производительности $\Pi = N \cdot \varepsilon_N / P_N$.

В заданных условиях агрегат может реализовать показатель

Π с максимальным эффектом за счёт сочетания B и V , при котором достигается максимум η_T и обеспечивается уменьшение K_a .

Влияние комбинаций B и V на показатели η_T и K_a иллюстрируется на рисунке 1 – фрагменте потенциальной тяговой характеристики агрегата.

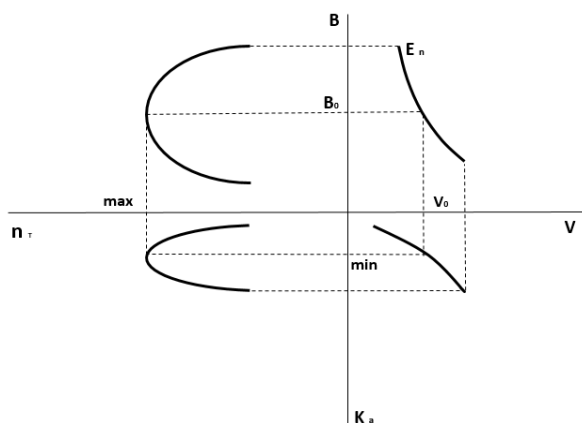


Рисунок 1 – Графический способ обоснования параметров МТА по критерию $\eta_T \rightarrow \max$

Из анализа графических зависимостей следует, что из множества комбинаций (B_i и V_i) только одно (B_0 и V_0) обеспечивает выполнение критерия $\eta_T \rightarrow \max$, что эквивалентно $\Pi \rightarrow \max$ или $P_N \rightarrow \min$.

Численные значения B_0 и V_0 определяются классическими методами оптимизации.

Пример 1. При энергетической оценке МТА для химической обработки посевов определяем КПД трактора η_T для различных комбинаций параметров B и V . Результаты экспериментов отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные сочетания рабочих параметров МТА

Комбинация	Скорость движения V , м/с	Ширина захвата B , м	Тяговый КПД η_T	Уровень качества ε_K
С	2,6	12	0,60	0,85
Д	2,2	10	0,65	0,70
Е	1,1	23	0,64	0,80

В таблице приведены только те комбинации, в которых значения B и V соответствуют агротребованиям и обеспечивают допустимое значение ε_N . Из анализа данных таблицы 1 следует, что

максимум η_T соответствует комбинации E . Агрегат с такими параметрами высокопроизводителен.

Но выполненная работа агрегатом с такими параметрами должна соответствовать также и показателям качества P_K , их агротехническим допускам.

С этой целью необходимо исследовать влияние каждого из эксплуатационных параметров на тот или иной показатель P_K . Например, при распределении удобрений по полю неравномерность дозы внесения увеличивается в меньшей степени от ширины захвата, чем от скорости движения МТА.

Выявлен факт значительного изменения показателя качества при малом варьировании параметра V . И, наоборот, широкий диапазон изменения B мало влияет на тот же показатель качества.

Это обстоятельство, наряду с другими, возможно, и давало повод оправдывать концепцию разработки скоростных рабочих органов машины энергонасыщенных тракторов. Это позволяло реализовывать мощность в большей степени для повышения скорости, при этом ширина захвата практически изменялась мало. Разный характер проявления изменений качественного показателя отдельно от B и от V приводит к сужению диапазона выбора сочетаний B_k и V_k , обеспечивающих качественную работу.

Иллюстрируются отмеченные особенности на рисунке 2.

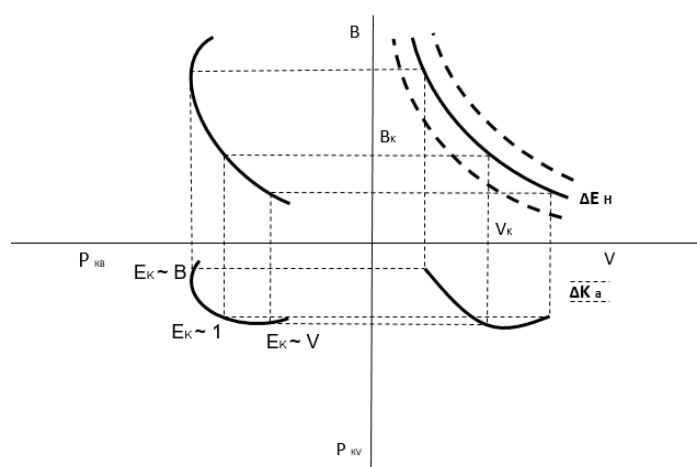


Рисунок 2 – Графический способ обоснования параметров МТА по критериям качества

Изменение показателей качества математически отражается равенствами: $P_{KB} = a \cdot B - B^c$; $P_{KV} = dV - V^e$. Коэффициенты a, d, c, e зависят от категории и размерности показателя качества, вида

работы и типа рабочих органов.

В теории качества метод определения данных коэффициентов требует совершенствования, поэтому необходимы исследования отдельного влияния каждого из параметров B и V на показатель качества. График III квадранта (рисунок 2) представляет взаимосвязь показателей P_{KB} и P_{KV} , которую можно выразить математическим уравнением.

Применение классических методов поиска экстремума функции позволит определить наибольшую степень совпадения показателей ε_K и соответствующие значения B_K и V_K . Агротехнический показатель $P_{KV} = \varphi(V)$ строго ограничивается, а для показателя $P_{KB} = \varphi(B)$ допускается более широкое варьирование, не нарушая стыковые междурядья от предыдущих операций и обеспечивая копирование поля.

Различные сочетания B и V в большинстве случаев не обеспечивают совпадение экстремумов показателей P_K .

Для установленного диапазона загрузки двигателя $\Delta\varepsilon_N$ степень соответствия показателей качества P_{KB} и P_{KV} агротехническим требованиям ΔK_a определяется по параметру ε_K из равенства $\varepsilon_K = P_{KB} / P_{KV}$ и иллюстрируется III квадрантом (рисунок 2).

Рекомендуется выбирать те комбинации B_K и V_K , которые соответствуют агродопускам и обеспечивают условие $\varepsilon_K \approx 1$. Тем самым предоставляется возможность определить сочетания B и V , которые выходят за границы допустимых отклонений и при которых может возникать брак в работе.

Пример 2. Оценка качественных показателей P_{KB} и P_{KV} работы МТА (для условий примера 1) выполнялась по каждой комбинации С, D и E (таблица 1). По ним выявлены и другие сочетания B и V , реализация которых позволяет выполнить работу, соответствующую требованиям агротехники и допуску отклонений $\Delta\varepsilon_N$ в пределах 0,70...0,85.

Численные значения варьируемых параметров МТА отражены в таблице 2.

Из анализа данных таблиц следует, что в сравнении с комбинацией E комбинация С во всех вариациях обеспечивает $\varepsilon_K \approx 1$, что позволяет считать сочетание параметров B_K и V_K в большей степени обеспечивающим качество и в меньшей – производительность.

Таблица 2 – Допустимые сочетания рабочих параметров МТА

Комбинация	I итерация			Комбинация	II итерация		
	V	B	ε_k		V	B	ε_k
C_1	3,2	12	0,9	C_2	2,7	9	0,8
D_1	2,4	16	0,7	D_2	1,9	13	0,6
E_1	1,8	24	0,8	E_2	1,4	20	0,7

Следующий этап действия метода рассматривает связи механических и качественных функций МТА. С этой целью выполняется наложение одних зависимостей (рисунок 1) на другие (рисунок 2) и анализируется зона их совпадения и координации. Анализ графиков (рисунок 2) позволяет констатировать факт несовпадения энергетических сочетаний B_0 и V_0 с качественным сочетанием B_k и V_k (рисунок 3). Это характерно практически для всех полевых работ.

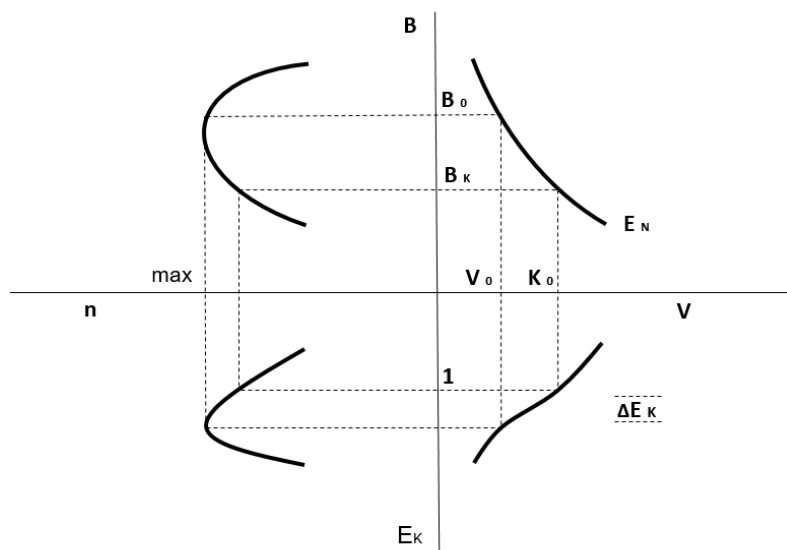


Рисунок 3 – Графическая модель координации показателей

Такие несовпадения объясняются тем, что максимум η_T соответствует малой скорости движения, а максимум P_k – большей ширине захвата. Данное обстоятельство выявило дилемму между качеством и эффектом: необходимость выбора наилучшего их соотношения.

В связи с этим заключительное действие метода определяет правило выбора компромиссной комбинации параметров B_p и V_p , которая соответствовала бы как одному, так и другому фактору

рациональности машиноиспользования.

Представляется сложным полезность качества и эффекта измерить количественно, точно также как объем, ширину, скорость, неравномерность, повреждаемость. Для решения такого рода технической задачи следует воспользоваться экономическим законом убывающей предельной полезности и на его основе моделировать поиск равновесного технологического состояния процесса. При достижении такого состояния можно констатировать экономическую, качественную и энергетическую рациональность использования МТА.

Решение задачи следует начинать с построения графиков функций и анализа кривых безразличия к комбинациям значений показателей (рисунок 4). Средняя линия (0 – 0) на графике отражает все комбинации двух показателей, которые приносят одинаковые удовлетворения, равнополезны и не имеют предпочтений. Область выше кривой (0 – 0) отражает более ценные комбинации, а ниже кривой сосредоточены менее ценные.

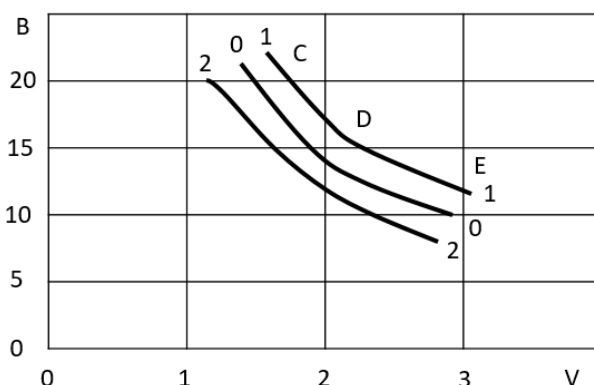


Рисунок 4 – Модель потребительского безразличия

Данные таблицы 2 иллюстрируются двумя дополнительными (1 – 1) и (2 – 2) кривыми безразличия – правее и левее начальной (0 – 0). Кривые не могут пересекаться между собой по определению. Область между кривыми (1 – 1) и (2 – 2) – допустимые безразличия. Уместно напомнить, что по смыслу данные кривые обозначают границы диапазона агротребований.

Таким образом, графически иллюстрируется модель безразличия или ее смысловой антипод – система потребительских предпочтений. Высокий уровень полезности соответствует кривой,

отстоящей дальше от начала координат. Любая точка на кривой (1 – 1) предпочтительней любой точки на кривой (0 – 0) и (2 – 2).

Дальнейшее решение задачи основывается на раскрытии свойств кривых безразличия. Начиная с любой комбинации чисел (точки на кривой), некоторое дополнительное увеличение одного показателя вызывает некое уменьшение другого показателя при неизменном уровне удовлетворения. Вследствие чего происходит замещение одного показателя B другим показателем V .

Предельная норма замещения НЗ рассчитывается по формуле: $НЗ = \Delta V / \Delta B$ и характеризует степень замещения: каким значением ΔV показателя V потребитель может пренебречь, чтобы получить дополнительную ΔB единицу показателя B . В силу замещаемости показателей параметр НЗ может принимать только отрицательные значения.

Определение численных значений НЗ для рассматриваемого примера приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Значения нормы замещения

Перемещение	Изменение скорости, ΔV	Изменение ширины, ΔB	Предельная норма замещения НЗ
от С до D	- 0,9	+ 4	- 0,225
от D до E	- 0,6	+ 7	- 0,086

Применительно к рассматриваемому заданию можно предложить вариант рациональности применения более производительного агрегата с параметрами комбинации E1 за счет снижения цены параметра V , что эквивалентно дотации на топливо.

В заключение следует отметить целесообразность обоснования оптимального использования техники с учетом взаимосвязей факторов агротехники, механики и экономики. Предлагаемый метод позволяет более полно раскрыть смысловое содержание рациональности в сфере агромашиноиспользования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, Р. Н. Обоснование методов оптимального моделирования производственных процессов / Р. Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 2. – С. 66-71.

2. Дидманидзе, Р. Н. Повышение эффективности производственных процессов с обеспечением конкурентоспособности продукции / Р. Н. Дидманидзе, А. С. Гузалов // В сборнике: ДОКЛАДЫ ТСХА: Материалы международной научной конференции. – 2018. – С. 91-93.
3. Дидманидзе, Р. Н. Потребительские аспекты обеспечения качества технических процессов / Р. Н. Дидманидзе, В. П. Уваров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горюхина». – 2007. – № 2. – С. 63.
4. Моделирование и оптимизация технологических процессов в растениеводстве / А. Н. Скороходов, А. Г. Левшин, В. П. Уваров, Р. Н. Дидманидзе. – М. : ФГБОУ ВПО МГАУ. – 2013. – 145 с.
5. Скороходов, А. Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А. Н. Скороходов, А. Г. Левшин // М. : БИТКОМ; ТРАНСЛОГ. – 2017. – 478 с.
6. Уваров, В. П. Практикум по обеспечению качества технологических процессов в растениеводстве / В. П. Уваров, Р. Н. Дидманидзе. – М. : МГАУ, 2006. – 60 с.
7. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – М. : ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с. – ISBN 978-5-6049928-2-1.
8. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12-13 мая 2022 года. – М. : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 15-21.
9. Пуляев, Н. Н. Инновационное развитие сельского хозяйства / Н. Н. Пуляев, Д. Г. Асадов // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. Том ВЫПУСК 293 Часть III. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2021. – С. 186-188.

Об авторах:

Дидманидзе Ремзи Назирович, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат экономических наук, доцент, rdidmanidze@rgau-msha.ru.

Майстренко Николай Александрович, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Российский государственный

аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат технических наук, доцент, nmaystrenko@rgau-msha.ru.

Фролова Дарья Юрьевна, аспирант ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), dfrolova@rgau-msha.ru.

Вехов Александр Анатольевич, студент ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49).

About the authors:

Remzi N. Didmanidze, associate professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Economic), associate professor, rdidmanidze@rgau-msha.ru.

Nikolay A. Maistrenko, associate professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), associate professor, nmaystrenko@rgau-msha.ru.

Darya Yu. Frolova, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), dfrolova@rgau-msha.ru.

Aleksandr A. Vehov, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).