

УДК 631.55:631.354:629.356

UDC 631.55:631.354:629.356

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОБЕГА АВТОМОБИЛЯ ПО ПОЛЮ ПРИ ОТВОЗЕ ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА

A MATHEMATICAL MODEL OF THE VEHICLE MILEAGE IN THE FIELD AT GRAIN REMOVAL FROM THE COMBINE

Назаров Андрей Николаевич
научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код 7058-3195
naz.and.nik.1969@yandex.ru

Nazarov Andrey Nikolaevich
Researcher
RSCI SPIN 7058-3195
naz.and.nik.1969@yandex.ru

Ревенко Валерий Юрьевич
к.т.н., уч. секретарь,
РИНЦ SPIN-код 6608-9963
skskniish@rambler.ru

Revenko Valeriy Yurievich
Candidate of Technical Sciences, Academic secretary,
RSCI SPIN code 6608-9963
skskniish@rambler.ru

Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), Новокубанск, Краснодарский край, Россия

Novokubansk branch of F'SBSI "Rosinformagrotekh" (KubNIITiM), Novokubansk, Krasnodar region, Russia

Предложена математическая модель, которая позволяет производить расчет среднего пути движения автомобиля, осуществляющего отвоз зерна от зерноуборочного комбайна, путем сложения усредненных значений элементарных участков порожнего и груженого пробега: внешних – по магистрали и внутренних – по массиву культуры. При этом конфигурация элементарных участков предполагаются прямолинейной. Приведенный алгоритм расчета применим для любого сочетания параметров убираемого участка (урожайность, длина гона), технических характеристик зерноуборочного комбайна (захват жатки, ёмкость зернового бункера), емкости кузова транспортных средств. На контрольном примере наглядно показаны достоинства и недостатки использования автомобилей различной грузоподъемности в составе уборочно-транспортных звеньев

The article proposes a mathematical model that allows calculating the average path of a car transporting grain from a combine harvester by adding the average values of elementary sections of empty and loaded mileage: external – along the highway and internal – along the culture array. In this case, the configuration of the elementary sections is assumed to be rectilinear. The above calculation algorithm is applicable for any combination of parameters of the harvested area (yield, rutting length), technical characteristics of the grain harvester (reaper capture, grain hopper capacity), vehicle body capacity. The control example clearly shows the advantages and disadvantages of using vehicles of various load capacities as part of harvesting and transport links

Ключевые слова: ГРУЗОВОЙ АВТОМОБИЛЬ, ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, МАРШРУТ ДВИЖЕНИЯ, ПРОБЕГ, ПОЛЕ, РАБОЧИЙ ЦИКЛ

Keywords: TRUCK, COMBINE HARVESTER, DRIVING ROUTE, MILEAGE, FIELD, DUTY CYCLE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-196-008>

За прошедшие несколько десятилетий вес автотранспортной техники, предназначенной для перевозки сельскохозяйственных грузов, существенно возрос. Так у первых КАМАЗов-5320 сельскохозяйственного назначения («сельхозников») полная масса машины в 80-е годы составляла 15,3 т. При работе с прицепом масса автопоезда не превышала 26,8 т. У со-

<http://ej.kubagro.ru/2024/02/pdf/08.pdf>

временных образцов (КАМАЗ-45144) полная масса машины достигла 25,3 т, а масса автопоезда – 40 т. В основе тенденций к увеличению веса транспортных средств стояли вопросы повышения их эффективности, обусловленной грузоподъемностью. Но, при этом практически не учитывались внутренние структурные ограничения почвы, по которой они передвигались [1].

Современные специализированные грузовые автомобили оказывают высокую нагрузку на почву, которая в настоящее время превышает критический механический порог для пахотных горизонтов, вызывая хроническое уплотнение почвы в корневых зонах и отрицательно влияя на почвенное плодородие. Кроме того, по мнению некоторых исследователей, историческое увеличение уровней уплотнения резко снизило гидропроводность верхних слоев почвы и их влагоаккумулирующую способность [2].

Вопросам изучения агроэкологической эффективности работы автомобильной техники, работающей в составе уборочно-транспортного звена на отвозе урожая от зерноуборочных комбайнов, посвящены материалы данного исследования.

В предыдущей публикации нами были предложены: математическая модель и алгоритм расчета дислокации мест выгрузки бункера зерноуборочного комбайна, определяющие маршрутизацию движения автотранспорта по полю [3]. Очевидно, что определённую роль при этом играют и другие слагаемые, обеспечивающие транспортную доступность к убираемому массиву культуры: наличие одного углового въезда или прилегающих дорог, одно- или двусторонний подъезд к полю, выгрузка бункера на краю или в центре поля, использование бункера-перегрузчика и др.

Таким образом, предметом данного исследования являются сравнительные характеристики пути движения в пределах поля автомобилей, предназначенных для отвоза урожая от зерноуборочного комбайна, в двух вариантах соотношения вместимостей кузова автомобиля V_K и бункера

комбайна V_6 – 1:1 и 2:1.

Исходные данные. Как правило, поле с созревшим урожаем предварительно обкашивается по периметру не менее чем тремя проходами комбайна, с образованием двух новых объектов: а) так называемой «транспортной магистрали» [4] (полосы обкосов, в пределах которой осуществляются маневры и развороты комбайнов, а также движение транспортных средств); б) массива – неубранной части поля, предназначенной для организованного комбайнирования. На поле может быть организована противопожарная полоса (прокос), используемая, при необходимости, в качестве дополнительной разгрузочно-транспортной магистрали.

В качестве типичных объектов при проведении исследований приняты автомобили ЗИЛ-ММЗ-554 с объемом кузова 9 м^3 и КАМАЗ-53205 с кузовом 19 м^3 (далее: ЗИЛ и КАМАЗ). Отличительной чертой пробегов по полю данной техники является то, что в первом случае автомобиль обслуживает один комбайн типа GS-10 (Гомсельмаш) с объемом бункера 7 м^3 или ВЕКТОР 410 (Ростсельмаш) с бункером 6 м^3 (рисунок 1)

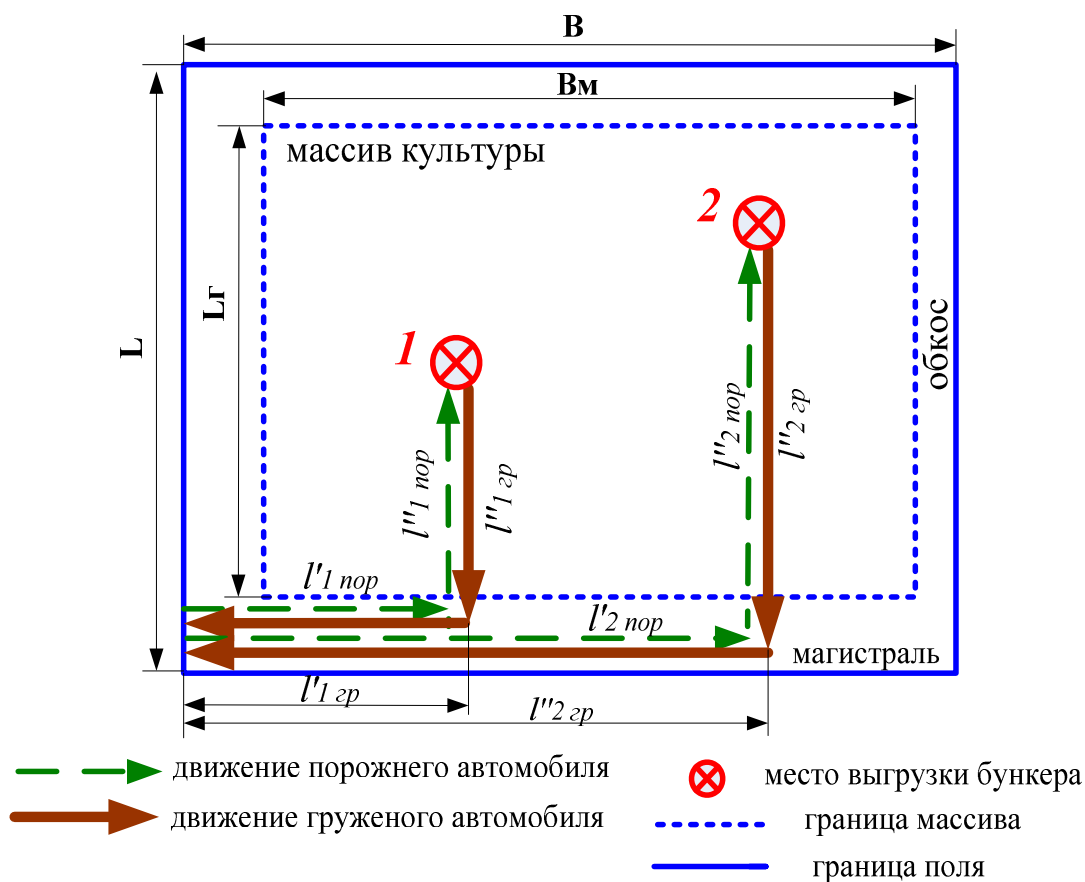


Рисунок 1 – Схема транспортных путей автомобиля ЗИЛ

Автомобилем КАМАЗ обслуживаются два комбайна типа ACROS 550/585 (Ростсельмаш) или серии GS 12 (14, 16) (Брянксельмаш) с бункером 9 м³, при этом исследуются два варианта маршрутизации, отличающиеся организацией работы комбайнов. В варианте А комбайны работают в одной загонке, поэтому в одном цикло-рейсе автомобиль не выезжает за её пределы и длина переезда с грузом от первого комбайна до второго минимальна. В варианте Б комбайны работают независимо в разных загонках, а автомобиль осуществляет переезд из одной загонки в другую (рисунок 2).

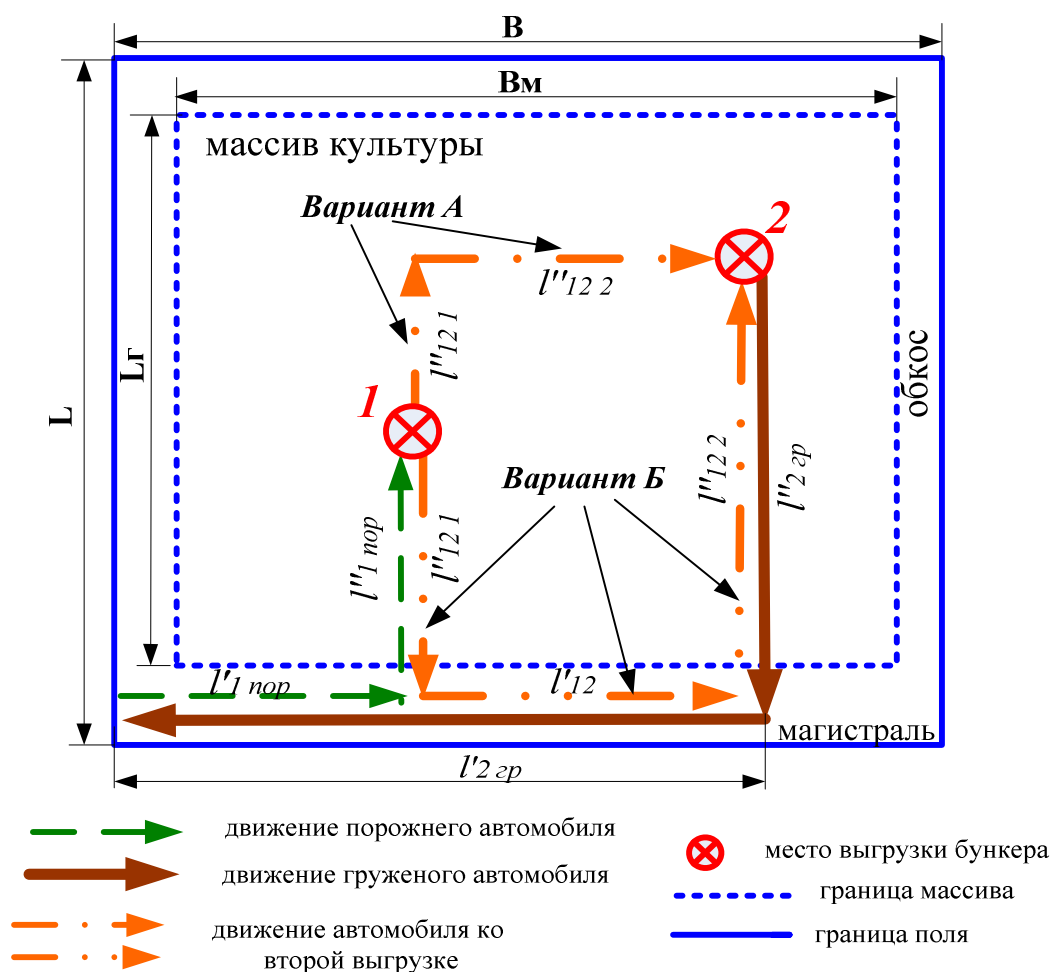


Рисунок 2 – Схема транспортных путей автомобиля КАМАЗ

Также принято, что, как и в реальных производственных условиях, продолжительность рабочих циклов автомобилей меньше длительности рабочих циклов комбайнов, что обеспечивает бесперебойную работу последних.

В рассматриваемой модели предполагается полная уборка поля в каждом варианте связки «автомобиль-комбайн» и «автомобиль-два комбайна», а транспортная доступность на поле обеспечивается через угловой въезд.

Содержание модели. Расчет среднего пути движения автомобиля производится путем сложения усредненных значений элементарных участков порожнего и груженого пробега: внешних – по магистрали и

внутренних – по массиву культуры. При этом конфигурация элементарных участков предполагаются прямолинейной.

Пробег порожнего и груженого автомобиля ЗИЛ по магистрали к i -ому месту выгрузки L_i , м формируется из двух блоков (порожний $L_{i\text{ пор}}$ и груженный $L_{i\text{ гр}}$ пробег), состоящих из четырех элементарных участков:

$$L_i = L_{i\text{ пор}} + L_{i\text{ гр}} = l'_{i\text{ пор}} + l''_{i\text{ пор}} + l'_{i\text{ гр}} + l''_{i\text{ гр}}, \text{ м} \quad (1)$$

где:

$l'_{i\text{ пор}}, l''_{i\text{ пор}}$ – пробег по магистрали и массиву порожний, м

$l'_{i\text{ гр}}, l''_{i\text{ гр}}$ – пробег по массиву и магистрали груженный, м

Общей чертой большинства данных элементарных участков является то, что каждый из них начинается или заканчивается на границе «магистраль-массив». В общем случае, при условии полной уборки массива культуры и полагая, что расположение мест заполнения и выгрузки бункера зависит от характеристик поля (урожайность культуры, длина гона и ширина массива) и комбайна (емкость бункера и захват жатки), а также организационных факторов (загонная или челночная работа комбайна), принимаем, что среднее значение длины любого элементарного участка в магистрали равно половине ширины массива B_M :

$$\bar{l}'_{i\text{ пор}} = \bar{l}'_{i\text{ гр}} = \frac{1}{2} \cdot B_M, \text{ м} \quad (2)$$

Аналогично, среднее значение длины любого элементарного участка в массиве равно половине длины гона L_G :

$$\bar{l}''_{i\text{ пор}} = \bar{l}''_{i\text{ гр}} = \frac{1}{2} \cdot L_G, \text{ м} \quad (3)$$

Последнее допущение обосновано следующими мотивами:

- значительным числом выгрузок комбайна в пределах типичного поля, исчисляемых несколькими десятками (например, для поля площадью 63 га при урожайности 60 ц/га, число выгрузок бункера объемом 6 м³ достигнет 81, а 9 м³ – 54);

- вероятностным, в общем случае, расположением по длине гона мест выгрузки бункера комбайна в пределах поля, математическое ожидание расположения которых находится в окрестностях середины гона (середины ширины массива);

- а главное, выводами из предыдущей публикации [3], в которой приведены доказательства правильности выражений (2) и (3).

Руководствуясь вышеизложенной аргументацией и производя эквивалентную замену в формулах (1) и (2), определим усредненную длину пути по полю автомобиля ЗИЛ:

$$\bar{L}_{\text{ЗИЛ}} = \frac{1}{2} \cdot B_{\text{м}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{г}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{г}} + \frac{1}{2} \cdot B_{\text{м}} = B_{\text{м}} + L_{\text{г}} \quad (4)$$

Общий пробег автомобиля зависит от числа выгрузок бункера комбайна N , значение которого определяется по формуле:

$$N = \frac{L_{\text{г}} \cdot B_{\text{м}} \cdot \gamma}{V_{\text{б}} \cdot \gamma} \quad (5)$$

где: $L_{\text{г}}$ – длина гона, м;

$B_{\text{м}}$ – ширина массива, м;

$V_{\text{б}}$ – вместимость бункера комбайна, м³;

γ – урожайность культуры, кг/м²;

γ – объемная масса культуры, кг/м³.

Общий пробег по полю автомобиля ЗИЛ составит:

$$L_{\text{ЗИЛ}} = (B_{\text{м}} + L_{\text{г}}) \cdot N \quad (6)$$

Различая качественные состояния магистрали (довольно узкой полосы с многократными проездами) и массива культуры (с разнесенным по значительной площади непересекающимися маршрутами транспорта), можно рассчитать долю пробега автомобиля по массиву автомобиля ЗИЛ – $D_{\text{м ЗИЛ}}$:

$$D_{\text{м ЗИЛ}} = \frac{L_{\text{г}}}{B_{\text{м}} + L_{\text{г}}} \quad (7)$$

Пробег порожнего и груженого автомобиля КАМАЗ по магистрали к j -му и -му местам выгрузки L_{jk} , формируется из трех блоков: порожний

пробег к первому комбайну $L_{j \text{ пор}}$, переезд с первым выгруженным бункером от первого комбайна ко второму $L_{jk \text{ пгр}}$ и груженный пробег от второго $L_{k \text{ гр}}$, состоящих из шести (в варианте А) или семи (в варианте Б) элементарных участков:

$$L_{jk}^A = L_{j \text{ пор}} + L_{jk \text{ пгр}} + L_{k \text{ гр}} = l'_{j \text{ пор}} + l''_{j \text{ пор}} + l''_{jk 1} + l''_{jk 2} + l''_{k \text{ гр}} + l'_{k \text{ гр}} \quad (8)$$

$$L_{jk}^B = L_{j \text{ пор}} + L_{jk \text{ пгр}} + L_{k \text{ гр}} = l'_{j \text{ пор}} + l''_{j \text{ пор}} + l''_{jk 1} + l'_{jk} + l''_{jk 2} + l''_{k \text{ гр}} + l'_{k \text{ гр}} \quad (9)$$

В варианте А средние значения $\bar{l}''_{jk 1}$ и $\bar{l}''_{jk 2}$ зависят от числа цикло-рейсов автомобиля N_K , длины гона L_Γ и ширины массива B_M соответственно, и рассчитываются по формулам:

$$\bar{l}''_{jk 1} = \frac{L_\Gamma}{N_K} \quad (10)$$

$$\bar{l}''_{jk 2} = \frac{B_M}{N_K} \quad (11)$$

где: N_K равно половине числа выгрузок бункера комбайна N .

В варианте Б средние значения пробегов $\bar{l}''_{jk 1}$ и $\bar{l}''_{jk 2}$ тождественны $\bar{l}'_{j \text{ пор}}$ и $\bar{l}'_{k \text{ гр}}$ и равны:

$$\bar{l}''_{jk 1} = \bar{l}''_{jk 2} = \frac{1}{2} \cdot L_{\Gamma, M} \quad (12)$$

Центральный магистральный участок пробега автомобиля КАМАЗ \bar{l}'_{jk} в варианте Б полностью расположен внутри магистрали и не имеет выхода за её пределы. Численное значение \bar{l}'_{jk} определяется, исходя из физического смысла этого участка, как магистрального перемещения наполовину загруженного автомобиля между выездом из массива от первого комбайна до въезда в массив для подъезда ко второму. При условии полной уборки поля, среднее значение этого слагаемого равно частному от деления ширины массива B_M на число цикло-рейсов N_K автомобиля КАМАЗ:

$$\bar{l}'_{jk} = \frac{B_M}{N_K} \quad (13)$$

Окончательный вид формулы определения среднего пробега автомобиля КАМАЗ выглядит следующим образом:

- в варианте А:

$$\bar{L}_{\text{КАМАЗ}}^{\text{А}} = \frac{1}{2} \cdot B_{\text{М}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{Г}} + \frac{B_{\text{М}}}{N_{\text{К}}} + \frac{L_{\text{Г}}}{N_{\text{К}}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{Г}} + \frac{1}{2} \cdot B_{\text{М}} = (B_{\text{М}} + L_{\text{Г}}) \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right) \quad (14)$$

- в варианте Б:

$$\bar{L}_{\text{КАМАЗ}}^{\text{Б}} = \frac{1}{2} \cdot B_{\text{М}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{Г}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{Г}} + \frac{B_{\text{М}}}{N_{\text{К}}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{Г}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{Г}} + \frac{1}{2} \cdot B_{\text{М}} = B_{\text{М}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right) + 2 \cdot L_{\text{Г}} \quad (15)$$

Общий пробег автомобиля КАМАЗ вычисляется с учетом значения цикло-рейсов $N_{\text{К}}$, и равен:

- в варианте А:

$$L_{\text{КАМАЗ}}^{\text{А}} = \bar{L}_{\text{КАМАЗ}}^{\text{А}} \cdot N_{\text{К}} = (B_{\text{М}} + L_{\text{Г}}) \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right) \cdot N_{\text{К}} = (B_{\text{М}} + L_{\text{Г}}) \cdot (1 + N_{\text{К}}) \quad (16)$$

- в варианте Б:

$$L_{\text{КАМАЗ}}^{\text{Б}} = \bar{L}_{\text{КАМАЗ}}^{\text{Б}} \cdot N_{\text{К}} = \left(B_{\text{М}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right) + 2 \cdot L_{\text{Г}}\right) \cdot N_{\text{К}} = B_{\text{М}} \cdot (1 + N_{\text{К}}) + 2 \cdot L_{\text{Г}} \cdot N_{\text{К}} \quad (17)$$

Доля пробега автомобиля по массиву $D_{\text{М КАМАЗ}}$:

- в варианте А:

$$D_{\text{М КАМАЗ}}^{\text{А}} = \frac{L_{\text{Г}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right)}{(B_{\text{М}} + L_{\text{Г}}) \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right)} \quad (18)$$

- в варианте Б:

$$D_{\text{М КАМАЗ}}^{\text{Б}} = \frac{2 \cdot L_{\text{Г}}}{B_{\text{М}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{К}}}\right) + 2 \cdot L_{\text{Г}}} \quad (19)$$

Рассмотрим на практическом примере методику определения численных значений пробегов упомянутых выше автомобилей в сравнимых условиях.

Условия контрольного примера: длина гона $L_{\text{Г}} = 1000$ м; ширина массива $B_{\text{М}} = 600$ м; вместимость бункера комбайна $V_{\text{б}} = 6$ м³; урожайность культуры (озимой пшеницы) $У = 0,6$ кг/м²; объемная масса культуры $\gamma = 780$ кг/м³.

Расчет.

1. Число выгрузок бункера комбайна (цикло-рейсов автомобиля ЗИЛ):

$$N = \frac{L_{\Gamma} \cdot B_{\text{м}} \cdot \gamma}{V_6 \cdot \gamma} = \frac{1000 \cdot 600 \cdot 0,6}{6 \cdot 780} = 77$$

Число цикло-рейсов автомобиля КАМАЗ:

$$N_{\text{к}} = \frac{N}{2} = \frac{77}{2} = 38,5$$

Для дальнейших расчетов принимаем $N_{\text{к}} = 39$.

2. Средний пробег по полю автомобиля:

- ЗИЛ, при обслуживании одного комбайна:

$$\bar{L}_{\text{ЗИЛ}} = B_{\text{м}} + L_{\Gamma} = 600 + 1000 = 1600 \text{ м}$$

- КАМАЗ, при обслуживании двух комбайнов:

- в варианте А:

$$\bar{L}_{\text{КАМАЗ}}^{\text{А}} = (B_{\text{м}} + L_{\Gamma}) \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{к}}}\right) = (600 + 1000) \cdot \left(1 + \frac{1}{39}\right) = 1648 \text{ м}$$

- в варианте Б:

$$\bar{L}_{\text{КАМАЗ}}^{\text{Б}} = B_{\text{м}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{к}}}\right) + 2 \cdot L_{\Gamma} = 600 \cdot \left(1 + \frac{1}{39}\right) + 2 \cdot 1000 = 2618 \text{ м}$$

3. Общий пробег автомобиля:

- ЗИЛ: $L_{\text{ЗИЛ}} = (B_{\text{м}} + L_{\Gamma}) \cdot N = 1600 \cdot 77 = 123200 \text{ м}$

- КАМАЗ в варианте А:

$$L_{\text{КАМАЗ}}^{\text{А}} = (B_{\text{м}} + L_{\Gamma}) \cdot (1 + N_{\text{к}}) = (600 + 1000) \cdot (1 + 39) = 64000 \text{ м}$$

- КАМАЗ в варианте Б:

$$L_{\text{КАМАЗ}}^{\text{Б}} = B_{\text{м}} \cdot (1 + N_{\text{к}}) + 2 \cdot L_{\Gamma} \cdot N_{\text{к}} = 1000 \cdot (1 + 39) + 2 \cdot 600 \cdot 39 = 86800 \text{ м}$$

4. Доля пробега по массиву культуры для автомобиля ЗИЛ составит:

$$D_{\text{м ЗИЛ}} = \frac{L_{\Gamma}}{B_{\text{м}} + L_{\Gamma}} = \frac{1000}{600 + 1000} = 0,62$$

- для автомобиля КАМАЗ в варианте А:

$$D_{\text{м КАМАЗ}}^{\text{А}} = \frac{L_{\Gamma} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{к}}}\right)}{(B_{\text{м}} + L_{\Gamma}) \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{к}}}\right)} = \frac{1000 \cdot \left(1 + \frac{1}{39}\right)}{(600 + 1000) \cdot \left(1 + \frac{1}{39}\right)} = 0,62$$

- для автомобиля КАМАЗ в варианте Б:

$$D_{\text{м КАМАЗ}}^{\text{Б}} = \frac{2 \cdot L_{\text{г}}}{B_{\text{м}} \cdot \left(1 + \frac{1}{N_{\text{к}}}\right) + 2 \cdot L_{\text{г}}} = \frac{2 \cdot 1000}{600 \cdot \left(1 + \frac{1}{39}\right) + 2 \cdot 1000} = 0,76$$

Таким образом, для условий данного конкретного примера, использование вместо автомобиля с меньшей грузоподъемностью (ЗИЛ) автомобиля КАМАЗ, принимающего зерно от двух комбайнов, приведет к следующему:

- в варианте А средний пробег увеличится с 1600 м до 1648 м (на 3,0 %);

- в варианте Б – до 2618 м (на 63,6 %).

Общий пробег в варианте А сократится со 123,2 км до 64,0 км (на 47,8 %), в варианте Б – до 86,8 км (на 29,5 %).

Доля пробега по массиву культуры для автомобиля ЗИЛ составляет 0,62, для автомобиля КАМАЗ в варианте А – 0,62, в варианте Б – 0,76.

Таким образом, приведенные выше расчеты позволяют утверждать, что:

- общий пробег автомобиля ЗИЛ при обслуживании одного комбайна существенно превышает пробег КАМАЗа, независимо от варианта организации работы комбайнов (А или Б);

- применение на отвозе урожая автомобиля КАМАЗ в варианте А (при групповой работе двух комбайнов в одной загонке) значительно эффективнее варианта Б (индивидуальная работа комбайнов в различных загонках), при этом источником эффективности является сокращение общего пробега автомобиля, в том числе по массиву культуры.

Выводы Представленная математическая модель позволяет проводить предварительную оценку технологических полевых маршрутов автомобилей, имеющих соотношение объемов «кузов-бункер» – «1:1» и «2:1» на отвозе урожая от зерноуборочного комбайна при любом сочетании характеристик поля, комбайна и автомобиля.

В модели в качестве характеристик движения по полю автомобиля

приняты два расчетных критерия: средний и общий пробег. При этом, средний путь автомобиля по полю к месту приема зерна от комбайна и обратно, при соотношении вместимостей кузова автомобиля V_k и бункера комбайна V_b 1:1 зависит лишь от длины гона L_T и ширины массива B_M . При соотношении вместимостей 2:1 – от числа цикло-рейсов автомобиля N . Для всех случаев предложенный алгоритм позволяет рассчитать долю пути по массиву культуры или по магистрали в среднем (общем) пробеге.

Предложенная модель, при наличии данных о геометрических параметрах движителей автомобилей (ширине колес), позволит проводить оценку доли площади поля, подверженной уплотнению этими движителями, в том числе с целью определения потенциального снижения урожайности при возделывании на данном участке последующих в севообороте культур.

В перспективе будут расширены возможности модели для осуществления сравнительных расчетов для любых вариантов работы транспортных средств, в том числе при обслуживании большегрузными автомобилями трех и более комбайнов, работающих в одной или нескольких загонках.

Список литературы

1. Schjøning, P., van den Akker, J. J. H., Keller, T., Greve, M. H., Lamandé, M., Simojoki, A., ... Breuning-Madsen, H. (2015). Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Analysis and Risk Assessment for Soil Compaction – A European Perspective. *Advances in Agronomy*, 183–237. doi:10.1016/bs.agron.2015.06.00
2. Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., & Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194, 104293. doi:10.1016/j.still.2019.104293
3. Назаров, А. Н. Алгоритм расчета траектории движения уборочно-транспортных агрегатов по полю / А. Н. Назаров, В. Ю. Ревенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 191. – С. 301-311. – DOI 10.21515/1990-4665-191-037.
4. Табашников А. Т. Организация уборки зерновых и кормовых культур. – М. Агропромиздат, 1985. – 159 с.

References

1. Schjønning, P., van den Akker, J. J. H., Keller, T., Greve, M. H., Lamandé, M., Simojoki, A., ... Breuning-Madsen, H. (2015). Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Analysis and Risk Assessment for Soil Compaction – A European Perspective. *Advances in Agronomy*, 183–237. doi:10.1016/bs.agron.2015.06.00
2. Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., & Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194, 104293. doi:10.1016/j.still.2019.104293
3. Nazarov, A. N. Algoritm rascheta traektorii dvizhenija uborochno-transportnyh agregatov po polju / A. N. Nazarov, V. Ju. Revenko // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2023. – № 191. – S. 301-311. – DOI 10.21515/1990-4665-191-037.
4. Tabashnikov A. T. Organizacija uborki zernovyh i kormovyh kul'tur. – M. Agropromizdat, 1985. – 159 s.