

## Разработка компоновки порталного высококлиренсного трактора и математическое моделирование его в динамике

*Матмуродов Ф.М., Асамов С., Ахмедов Ш., Туланов И.О.*

**Аннотация.** Представлены различные компоновки порталного трактора, для выполнения трансформируемых действий адаптивного сверхинтенсивного садоводства. Приведен перечень агротехнических рекомендуемых приемов интенсивного садоводства. Создана математическая модель, определяющая перемещения гидроцилиндров в процессе подъемного действия нового разработанного порталного высококлиренсного трактора.

**Ключевые слова:** высококлиренсный порталный трактор, трансформируемый трактор, супер интенсивное садоводство, агротехнический прием, интенсивное садоводство, гидроцилиндр, подъемное действие, математическая модель.

**Для цитирования:** Матмуродов Ф.М., Асамов С., Ахмедов Ш., Туланов И.О. Разработка компоновки порталного высококлиренсного трактора и математическое моделирование его в динамике // Инновационная техника и технология. 2019. № 3 (20). С. 46–51.

## Development of the layout of the portal high-clearance tractor and its mathematical modeling in dynamics

*Matmurodov F.M., Asamov S., Akhmedov Sh., Tulanov I.O.*

**Abstract.** Various layouts of the portal tractor are presented to perform transformative actions of adaptive ultra-intensive gardening. The list of agrotechnical recommended methods of intensive gardening is given. A mathematical model has been created that determines the movements of hydraulic cylinders during the lifting action of the new developed portal high-clearance tractor.

**Keywords:** high-clearance portal tractor, transformable tractor, super intensive gardening, agricultural technique, intensive gardening, hydraulic cylinder, lifting action, mathematical model.

**For citation:** Matmurodov F.M., Asamov S., Akhmedov Sh., Tulanov I.O. Development of the layout of the portal high-clearance tractor and its mathematical modeling in dynamics. Innovative Machinery and Technology. 2019. No.3 (20). pp. 46–51. (In Russ.).

### Введение

Компоновка порталного трактора, т.е. размещение на нем механизмов определяется его назначением. Под общей компоновкой порталных колесных тракторов понимается взаимное размещение двигателя, трансмиссии, кабины, ходовых систем т.е. основных агрегатов и систем, подчиненное задаче обеспечения заданных эксплуатационно-технологических свойств трактора при устойчивом (продольной и поперечной) прямолинейном его движении.

Цель работы разработка различной компоновки порталного высококлиренсного трансформируемого трактора и математическое моделирование подъемного механизма.

### Объекты и методы исследований

Методика исследования: сравнение и проек-

тирование конструкции трактора, анализ и синтез источников информации.

### Результаты и их обсуждение

При компоновке трактора необходимо обеспечить следующее:

1) увязка ширины и высоты проходимости с габаритами деревьев (шпалер), чтобы не повреждать их;

2) увязка колеи с междурядьями и поперечной устойчивости;

3) наилучшие тяговые качества при сохранении управляемости и устойчивости путем правильного распределения давления на опоры ходовой системы при работе (с учетом опрокидывающего момента от тягового усилия и от веса навешенного орудия);

4) устойчивое сохранение заданного направления с учетом нецентральной навески машин, вызывающие увод трактора в ту или иную сторону из-за



Рис. 1. Элементы междурядий и высоты деревьев в промышленных садах

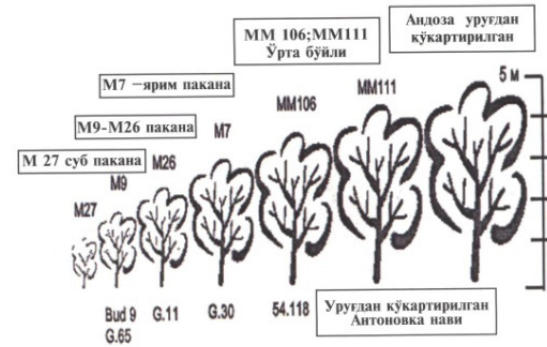


Рис. 2. Высота деревьев в зависимости от клоновых подвоев

возникающих при работе неодинаковых тяговых сопротивлений в правой или левой части;

5) хорошую маневренность;

6) простое и легкое управление, удобную посадку тракториста, хорошую обзорность пути, рядов деревьев и рабочих органов навешенных машин;

7) безопасность при работе, легкость агрегатирования машин и управления ими;

8) простота технического обслуживания и минимальных трудозатрат и время для ее проведения.

В настоящее время в Узбекистане широко развивается интенсивное садоводство и виноградарство.

В отечественном интенсивном садоводстве и виноградарстве применяется следующие междурядья: - в садоводстве – 3,5 - 4 м;

- в виноградниках – 1,5; 2,0; 2,25; 2,5; и 3,0 м.

Опыт механизации работ в виноградарстве показывает тенденцию увеличения междурядий.

При компоновке портального трактора необходимо учесть габаритные размеры деревьев и шпалер, особенно их высоты. Интенсификация садоводства связана с переходом от сильнорослых насаждений к насаждениям на слаборослых клоновых подвоях.

За рубежом в интенсивных садоводствах при междурядьях 3 – 5 м высота деревьев доходит 2–3 м, а в супер интенсивных садах при междурядий 3 м, высота деревьев составляет 1,5 – 2,0 м.

Тенденция развития садоводства и виноградарства (рис. 1) показывает, что его интенсификация осуществляется в направлении перехода от сильнорослых насаждений к насаждениям на слаборослых клоновых подвоях.

В нашей страна высота деревьев при выращивании по интенсивной технологии достигает:

- карликовых М6 – М26 – 2,5 – 3,2;

- супер карликовых М – 9 – 2,0 м; М – 27 – 1,5 м.

По агротехническим требованиям высота шпалер не должен превышать 1,8 м.

Почти все современные типы интенсивных садов независимо от первоначальных принципов формирования крон, представляют собой узкие плодо-

вые стены, шириной до 2 м, разделяемые рабочими проходами приблизительно такой же ширины.

Деревья, сформированные по системе строительного веретена, имеет округлую форму, несколько напоминающую конус, высотой до 2–2,5 м и диаметром внизу 1,5–2 м. Кроны соседних деревьев, смыкаясь в ряду, образуют плодовую стену толщиной до 2 м.

В конце периода формирования ограничивают высоту дерева, которая не должна превышать 2,5 м.

Для полной механизации за уходом деревьев, рекомендуют высоту плодоносящих деревьев не превышать высоту 3,0 – 3,5 м, ширину 1,5 – 2 м, это считается рациональным.

В современных интенсивных садах, независимо от первоначальных принципов формирования крон, представляют собою узкие плодовые стены, шириной до 2 м, разделяемые рабочими проходами приблизительно такой же ширины. При междурядьях 3 – 5 м высота деревьев доходит 2–3 м, а в супер интенсивных садах при междурядий 3 м, высота деревьев составляют 1,5 – 2,0 м.

Учитывая вышесказанное поставлена цель создать специализированный портальный трактор для работы в интенсивных садах и винограда, где основном выращивает карликовые деревья [1].

В последние годы в связи с механизацией технологических процессов в виноградниках наблюдается расширение междурядий в сторону 2,5 – 3,0 м.

С широким применением средств механизации с учетом их габаритных размеров, междурядья деревьев и поворотные полосы увеличивается.

В супер интенсивных садах при междурядьях 3 м, высота деревьев составляют 1,5 – 2,0 м.

Вписываемость трактора над рядами плодовых насаждений в интенсивных садах и виноградниках.

Проходимость – одно из основных эксплуатационных свойств трактора, определяющее способность двигаться и выполнять различные работы в составе машинно-тракторных агрегатов на требуемом агротехническом уровне и в различных условиях.

Абрис проходимости – эта нижняя часть контура проекции трактора на вертикальную поперечную

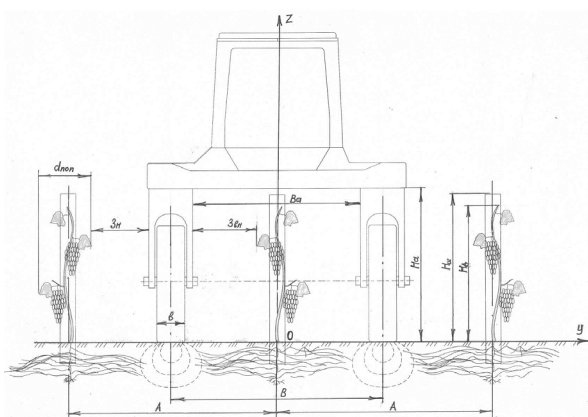


Рис. 3а. Вписваемость трактора в междурядья винограда

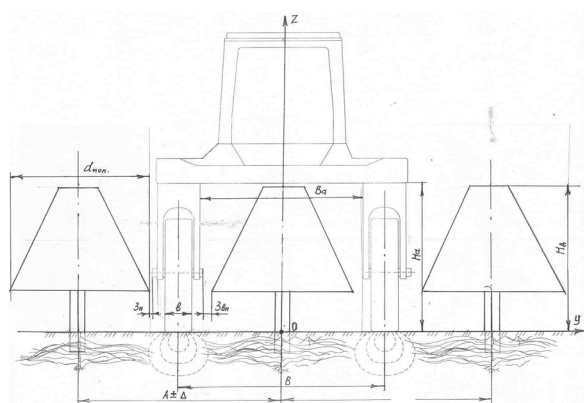


Рис. 3б. Вписваемость трактора в междурядья плодовых деревьев

плоскость. По абрису оценивают «вписываемость» трактора в междурядья, а в нашем случае над рядами плодовых насаждений. Для портального трактора абрис проходимость это «оседлание» деревьев и виноградного ряда исключают повреждение кустов, плодов и шпалер.

Основными параметрами портального трактора является ширина и высота абриса трактора по вертикальной поперечной плоскости, который влияет на повреждение ветвей деревьев. С точки зрения компактности трактора ширина и высота абриса должна быть минимальной. С другой стороны ширина и высота должна быть достаточной, чтобы не повреждать кусты и плоды деревьев и обеспечить допустимые защитные зоны при обработке междурядий деревьев.

Основными факторами, влияющими на ширину абриса, является прямолинейность ряда деревьев, отклонения деревьев от осевой линии ряда (отклонение шпалер от оси ряда), поперечной ширины деревьев, устойчивость прямолинейного движения (отклонение трактора от заданной траектории – осью ряда деревьев) и управляемости трактора. Перечисленные факторы, в свою очередь, обуславливаются многими управляемыми и неуправляемыми учесть влияние каждого из которых в отдельности практически невозможно.

Наиболее существенным показателем, влияющим на абрис из всех перечисленных факторов является величина поперечной ширины и высота дерева, так как  $d_{non} > 23_{vn}$ .

где  $3_{vn}$  – внутренняя защитная зона;  $d_{non}$  – средняя поперечная ширина дерева.

На основе изучения архитектоники деревьев сформулированы предварительные требования к абрису портального трактора:

1. Ширина просвета, мм не менее –  $2000 \pm 100$ .
2. Высота просвета, мм не менее –  $2000 \pm 500$ .

С учетом габаритных размеров карликовых и супер карликовых деревьев, винограда и высоты шпалер проводили несколько вариантов компоновки портального трактора, из них 4 варианта приведена на рис.3.

Нами разработаны предварительная общая

компоновка портального трактора варианты которых приведены на рис.4.

Последний вариант предварительной компоновки портального трактора (4К2) приведен на рис.5.

Данная конструкция портального трактора отличается от обычных высококлиренсных П-образной колесной ходовой частью, движущейся по двум смежным междурядьям, а двигатель, трансмиссия, кабина, навесная система и др. расположены сверху ряда деревьев, т.е. трактор движется над деревьями.

Принципиально важным является то, что трактор с помощью гидроцилиндра переводится из высококлиренсного варианта (клиренс 2000 мм, для работы в интенсивных садах и виноградниках) к низкоклиренсному универсально-пропашному варианту (клиренс 800 мм для иных полевых работ.).

Математически моделируем подъемное действие разработанного портального высококлиренсного трактора. При составлении динамической модели рычажного механизма приняты следующие допущения: стойка рычажного механизма установлена жестко; коэффициенты трения в шарнирах механизма приняты за постоянные величины; трактор совершает только вертикальные колебания (наиболее влияющие на динамику системы).

Используя рис. 6 напишем уравнения описывающего действия вращательно движущихся механических механизмов от источника энергии.

Используя рис. 6 напишем уравнения описывающего действия вращательно движущихся механических механизмов от источника энергии.

$$\left\{ \begin{aligned} (J_d + J_{mc1})\ddot{\varphi}_d + k_{d2}(\dot{\varphi}_d - \dot{\varphi}_2) + c_{d2}(\varphi_d + \varphi_2) &= M_d + \frac{M_2}{i_2} \\ (J_{mc1} + J_{mc2})\ddot{\varphi}_2 + c_2(\dot{\varphi}_d + \dot{\varphi}_2) &= -M_2 \text{sign}(\dot{\varphi}_2) i_2, \\ \varphi_d = \varphi_2 = \varphi_{mc1} = \varphi_{mc2}, M_2 &= M_{mc1} + M_{mc2} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где  $J_d, J_{mc1}, J_{mc2}$  – приведенный момент инерции двигателя, маховика с вращающихся деталей ведущей части муфты сцепления,

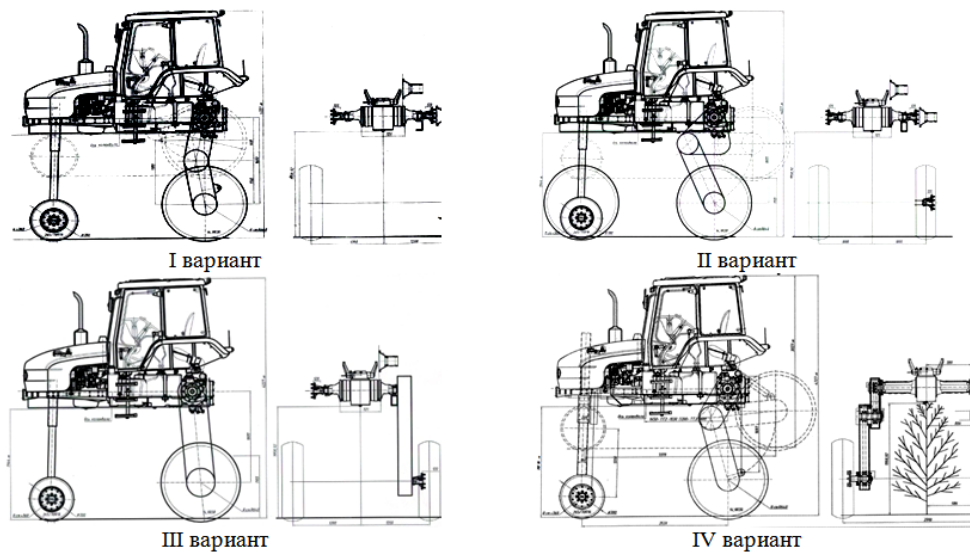


Рис. 4. Предварительная компоновка портального трактора 4К2

вращающихся деталей ведомой части муфты сцепления;

$\varphi_d, \varphi_2, \varphi_{mc1}, \varphi_{mc2}$  – углы вращения каленчатого вала двигателя, маховика с муфты сцепления, ведущая и ведомая часть муфта сцепления, и их скорость и ускорения соответственно;  $c_{d2}, c_2$  – окружная жесткость валопровода между двигателями и маховика с ведущей части муфта сцепления, между ведомой части муфты сцепления и гидронасоса;  $k_{d2}$  – коэффициент демпфирования лопровода между двигателями и маховика с ведущей части муфта сцепления;  $M_d$  – крутящий момент на каленвале двигателя;  $M_2, M_{mc1}, M_{mc2}$  – момент сопротивления маховика с муфта сцепления в целом, моменты сопротивления маховика с ведущей части и ведомой части муфта сцепления;  $i_2$  – передаточное число маховика муфты сцепления.

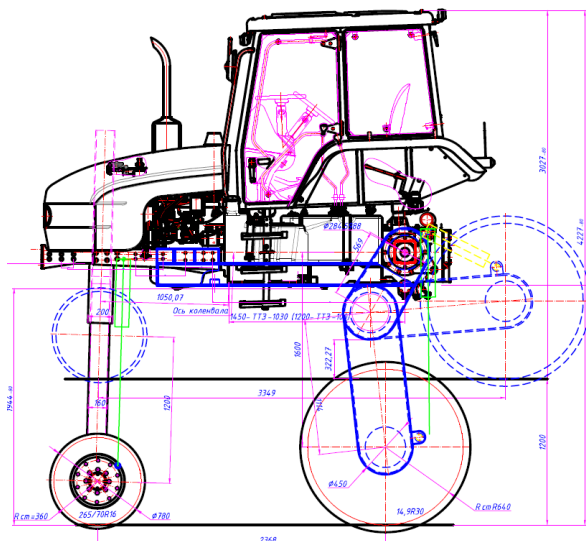


Рис. 5. Последний вариант предварительной компоновки портального трактора (4К2)

С функционирования гидронасоса вместе с гидроцилиндром осуществляется подъемное действие высококлиренсного трактора и опишем системы уравнений передачи энергосилы от вала муфты сцепления к гидронасосу

$$\begin{cases} J_{gn} \ddot{\varphi}_{gn} + k_{gn} (\dot{\varphi}_{mc2} - \dot{\varphi}_{gn}) + c_{gn} (\varphi_{mc2} + \varphi_{gn}) = M_{gn} \\ M_{gn} = k_{gn} \gamma (p_1 - p_2) - f_{пэк} \dot{\varphi}_{gn} \\ M_p = (V_{gn} / 2\pi) p \end{cases} \quad (2)$$

где  $\gamma$  – угол поворота управляющего устройства насоса;  $p_1, p_2$  – давления в напорной и сливной гидролиний,  $k_{gn}, c_{gn}, \varphi_{gn}$  – коэффициент демпфирования, жесткости и угловое перемещение валопровода между муфты сцепления и гидронасосом;  $V_{gn}$  – рабочий объем насоса;  $f_{пэк}$  – коэффициенты обобщенного эквивалентного демпфирования насоса;

$M_{gn}$  – момент создаваемого гидронасосом,

$M_p$  – момент создаваемый РЖ;  $p$  – рабочие давления гидролиний.

Опишем систем уравнения подъемного действия портального трактора

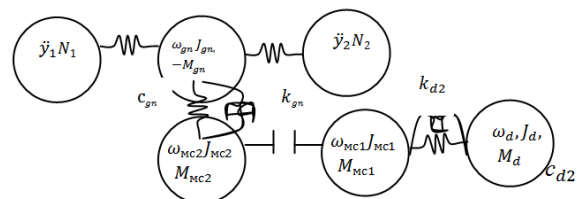


Рис. 6. Эквивалентная расчетная схема портального высококлиренсного трактора

$$\frac{\pm p_1 F_i \pm p_{ga} F_{ga} - h_1 \frac{dy_1}{dt} - R_{tr1} \text{sign} \left( \frac{dy_1}{dt} \right) \pm N_1}{m_1} = \frac{d^2 y_1}{dt^2} \quad (3)$$

$$\frac{\pm p_1 F_i \pm p_{ga} F_{ga} - h_1 \frac{dy_2}{dt} - R_{tr2} \text{sign} \left( \frac{dy_2}{dt} \right) \pm N_2}{m_2} = \frac{d^2 y_2}{dt^2} \quad (4)$$

Уравнения расходов через дроссели при нагнетании в поршневую (знак «+» в уравнениях) или штоковую (знак «-») полости [2].

где  $P_i$  – давления жидкости в соответствующих полостях, МПа;  $F_i$  – площади сечения в соответствующих полостях гидроцилиндра, м<sup>2</sup>;  $P_{ga}$  – давления жидкости в гидроаккумуляторе, МПа;  $F_{ga}$  – действующая площадь сечения полостей гидроаккумулятора, м<sup>2</sup>;  $m_1, m_2$  – приведенные массы передних и задних рычажных механизмов и массы передней и задней части трактора к поршням цилиндров, кг;  $h_1$  – коэффициент вязкого трения в гидроцилиндре, кг/с;  $R_{tr1}, R_{tr2}$  – силы трения в уплотнениях поршня и штока на переднего и заднего расположенных гидроцилиндров, Н;  $N_1, N_2$  – усилия, передаваемых на штоков, Н.

### Список литературы

- [1] Матмуродов Ф.М. Вопросы создания трансформируемого колесного трактора // *Инновационная техника и технология*, 2018. №3. С.25-29.
- [2] Хавронин В.П. Повышение эффективности сельскохозяйственных погрузочных агрегатов за счет снижения динамической нагруженности гидропривода. Авторефю дис. на соискание уч. ст. к.т. н., Волгоград, 2007, с.9.
- [3] Фролов Д.И., Курочкин А.А., Шабурова Г.В. Моделирование процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014. № 3. С. 29–33.
- [4] Фролов Д.И., Курочкин А.А., Шабурова Г.В. Обоснование оптимальной частоты вращения рабочего органа ботвоудаляющей машины // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013. № 3. С. 18–23.
- [5] Фролов Д.И., Чекайкин С.В. Обоснование рациональных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2014. № 6 (22). С. 158–161.
- [6] Анализ процесса движения воздуха внутри кожуха ботвоудаляющего рабочего органа с обоснованием оптимального угла наклона ножей / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.Е. Каширин // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2015. № 4 (28). С. 67–72.
- [7] Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М., Фролов Д.И. Обоснование конструктивно-режимных параметров ботвоудаляющего устройства при лабораторных исследованиях // *Нива Поволжья*. 2008. № 2 (7). С. 46–51.
- [8] Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М., Фролов Д.И. Оптимальные параметры ботвоудаляющего рабочего органа обрезчика листостебельной массы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2010. № 2. С. 15–17.
- [9] Моделирование работы ботвоудаляющей машины с анализом потоков воздуха внутри ее кожуха / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, О.Н. Кухарев, Н.П. Ларюшин // *Нива Поволжья*. 2016. № 3 (40). С. 105–111.

### Выводы

Портальный трактор свободно двигался и выполнял различные работы в составе машинно-тракторных агрегатов, но для этого требуются следующие агротехнические приемы:

по агротехническим требованиям высота шпалер не должна превышать 1,8 м.

в конце периода формирования ограничивают высоту дерева, которая не должна превышать 2,5 м.

в последние годы в связи с механизацией технологических процессов в виноградниках наблюдается расширение междурядий в сторону 2,5 – 3,0 м.

в супер интенсивных садах при междурядий 3 м, высота деревьев составляют 1,5 – 2,0 м.

для полной механизации за уходом деревьев рекомендуют не превышать высоту плодоносящих деревьев 3,0 – 3,5 м, ширину 1,5 – 2 м, которые считаются рациональными.

Особенно важным критерием считается то, что трактор трансформируется в супер интенсивных садах т.е. с помощью гидроцилиндра переводится из высококлиренсного варианта (клиренс 2000 мм, для работы в интенсивных садах и виноградниках) к низкоклиренсному универсально-пропашному варианту для междурядной работы с плодовыми деревьями. Поэтому трактор не будет простаивать, обеспечивая круглогодичную работу.

Созданная математическая модель поможет найти перемещения гидроцилиндров для подъемного действия разработанного портального высококлиренсного трактора.

- [10] Фролов Д.И., Курочкин А.А., Шабурова Г.В. Определение оптимальных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1 (29). С. 120–126.

**References**

- [1] Matmurodov F.M. Issues of creating a transformable wheeled tractor // «Innovative Technique and Technology», 2018, No. 3, p.25-29.
- [2] Khavronin V.P. Improving the efficiency of agricultural loading units by reducing the dynamic load of the hydraulic drive. Abstract of dis. for the competition Art. c.t. N., Volgograd, 2007, p. 9.
- [3] Frolov D.I., Kurochkin A.A., Shaburova G.V. Modeling the process of removing onion tops by the working body of the topping machine // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No. 3. P. 29–33.
- [4] Frolov D.I., Kurochkin A.A., Shaburova G.V. Substantiation of the optimal rotational speed of the working body of the topping machine // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2013. No. 3. P. 18–23.
- [5] Frolov D.I., Chekaykin S.V. The rationale for the rational parameters of the topping machine for onion crops // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2014. No. 6 (22). S. 158–161.
- [6] Analysis of the process of air movement inside the casing of the topping working body with justification of the optimal angle of inclination of the knives / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.E. Kashirin // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva. 2015. No. 4 (28). S. 67–72.
- [7] Laryushin N.P., Laryushin A.M., Frolov D.I. Substantiation of structural-operational parameters of the topper device in laboratory research // Niva Volga. 2008. No. 2 (7). S. 46-51.
- [8] Laryushin N.P., Laryushin A.M., Frolov D.I. Optimal parameters of the top-to-bottom working body of the cutter of the leaf-stem mass // Tractors and agricultural machinery. 2010. No. 2. P. 15-17.
- [9] Modeling the operation of the topping machine with the analysis of air flows inside its casing / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, O.N. Kukharev, N.P. Laryushin // Niva Volga. 2016. No. 3 (40). S. 105–111.
- [10] Frolov D.I., Kurochkin A.A., Shaburova G.V. Determination of the optimal parameters of the topping machine for onion crops // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2015. No. 1 (29). S. 120–126.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Матмуродов Фарход Маткурбоневич</b> кандидат технических наук руководитель исследовательского проекта Туринский политехнический университет в г.Ташкенте г. Ташкент, ул. Куприкли 46 <b>Тел.:</b> +998 (97) 404-27-44 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>	<p><b>Matmurodov Farkhod Matkurbonovich</b> PhD in Technical Sciences research project manager Turin Polytechnic University in Tashkent <b>Phone:</b> +998 (97) 404-27-44 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>
<p><b>Асамов Сайфиддин</b> заведующий отделом Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (г. Ташкент) г. Ташкент, ул. Самаркандская 41 <b>Тел.:</b> +998 (70) 606-13-86 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>	<p><b>Asamov Saifiddin</b> head of the department Research Institute of Agricultural Mechanization (Tashkent) <b>Phone:</b> +998 (70) 606-13-86 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>
<p><b>Ахмедов Шерзод</b> заместитель директора Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (г. Ташкент) г. Ташкент, ул. Самаркандская 41 <b>Тел.:</b> +998 (70) 606-13-87 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>	<p><b>Akhmedov Sherzod</b> deputy director Research Institute of Agricultural Mechanization (Tashkent) <b>Phone:</b> +998 (70) 606-13-87 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>
<p><b>Туланов Исомиддин Отабекович</b> старший научный сотрудник Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (г. Ташкент) г. Ташкент, ул. Самаркандская 41 <b>Тел.:</b> +998 (70) 606-13-88 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>	<p><b>Tulanov Isomiddin Otabekovich</b> senior researcher Research Institute of Agricultural Mechanization (Tashkent) <b>Phone:</b> +998 (70) 606-13-88 <b>E-mail:</b> matmurodov@yahoo.com</p>