

# ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ

## THE GENERAL CONCEPT OF BLOCK-MODULAR CONSTRUCTION OF FOREST TILLAGE TOOLS

**И.М. БАРТЕНЕВ**, д.т.н.  
**М.Н. ЛЫСЫЧ**, к.т.н.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия, vglta-mlx@yandex.ru

**I.M. BARTENEV**, DSc in Engineering  
**M.N. LYSYCH**, PhD in Engineering

Voronezh State University of Forestry and Technologies  
Named after Georgiy F. Morozov, vglta-mlx@yandex.ru

В статье приводятся общие данные о масштабах и перспективах использования блочно-модульных принципов построения технических объектов в различных отраслях промышленности, в частности в сельском хозяйстве при разработке почвообрабатывающих и посевных агрегатов. В лесном хозяйстве блочно-модульное построение почвообрабатывающих орудий не нашло столь широкого применения, поэтому преобладают конструкции, приспособленные к выполнению одной технологической операции в рамках определенной технологии. В то же время все это разнообразие специализированных машин остается невостребованным, т.к. лесные предприятия на современном этапе развития не способны закупать и эксплуатировать широкий спектр оборудования и ограничиваются весьма узким набором морально устаревших почвообрабатывающих орудий. Для решения этих проблем авторами были применены блочно-модульные принципы построения технических объектов для разработки комплекса почвообрабатывающих лесных орудий. Приводится конструктивное описание предлагаемых базовых модульных платформ (однобрусная задненавесная, двухбрусная задненавесная и передненавесная) и различных сменных модулей рабочих органов. Проработаны возможные варианты компоновки модульных орудий в среде 3D САПР SolidWorks, и представлен пример МТА на базе многофункционального модульного лемешного плуга. Проведенный анализ конструкций подтвердил, что оснащаемые различными рабочими модулями орудия способны эффективно производить все операции по основной подготовке почвы, проведению агротехнических уходов, а также частично посев и посадку лесных культур в разнообразных условиях. Таким образом, большое разнообразие используемой лесной почвообрабатывающей техники, зачастую обладающей невысокой эффективностью, можно свести к узкому спектру высокоадаптивных модульных орудий.

*Ключевые слова:* блочно-модульная компоновка, почвообрабатывающее орудие, лесовосстановление, технология, САПР.

The article provides general data on the scale and prospects for the use of block-modular principles for constructing technical objects in various industries, in particular, in agriculture in the development of tillage and sowing units. In forestry, the block-modular construction of tillage tools has not found a wide-spread use, therefore, designs adapted to perform a single technological operation within a specific technology prevail. At the same time, all this variety of specialized machines remains unclaimed, since Forest enterprises at the present stage of development are not capable of purchasing and operating a wide range of equipment and are limited to a very narrow set of obsolete tillage tools. To solve these problems, the author applied block-modular principles for constructing technical objects for developing a set of tillage forest tools. A constructive description of the proposed basic modular platforms (single-bar rear-mounted, double-sided rear-hung and front-hung) and various interchangeable modules of the working bodies is given. The possible options for the layout of modular tools in 3D CAD software SolidWorks have been worked out and an example of machine tractor unit based on a multifunctional modular plow has been presented. The analysis of the structures confirmed that the tools equipped with various working modules are capable of effectively performing all operations on basic soil preparation, carrying out agrotechnical treatments, as well as partly sowing and planting of forest crops in various conditions. Thus, a large variety of used forest tillage equipment used can be reduced to a narrow range of highly adaptable modular tools.

*Keywords:* block-modular layout, tillage tool, reforestation, technology, CAD.

## Введение

Блочно-модульные принципы построения технических объектов находят широчайшее применение в различных отраслях современного промышленного производства. Исследованию данного вопроса посвящено множество публикаций иностранных ученых [1–6].

В настоящее время программы развития модульных технологий интенсивно реализуются в странах ЕС и США. В частности, в европейском сегменте развития производства на 2015–2020 гг. модульные технологии оцениваются как наиболее перспективные при всех сценариях будущего промышленности Европейского Союза. В США модульное производство было включено в число технологических приоритетов в рамках производственного развития. В Японии также правительственные учреждения поддерживают исследовательские программы, направленные на развитие модульного конструирования и производства.

Обычно вопросы использования модульных конструкций и модульных платформ затрагивают национальную конкурентоспособность, а потому находятся в зоне внимания национальных правительственных и некоммерческих неправительственных организаций.

В нашей стране в 1980-е гг. велась интенсивная разработка модульных конструкций в ОПК, судостроении, строительстве, сельском хозяйстве и некоторых других отраслях. Но в 1990–2000 гг. модульная тематика для российской промышленности временно утра-

тила свою актуальность. Россия пропустила несколько этапов в развитии модульных конструкций и модульного производства. Какой-либо внятной промышленной политики в данной сфере реализовано не было. В настоящее время усилия по разворачиванию модульных производств предпринимаются, прежде всего, в отечественной автомобильной промышленности [7].

Приведенные данные показывают на перспективность внедрения модульных концепций построения технических объектов в разнообразных отраслях промышленного производства (рис. 1) [7].

Сущность блочно-модульного построения машин состоит в разработке совокупности изделий, объединенных общностью технических решений, с использованием ограниченной номенклатуры составных частей. Число и вид модулей определяется совокупностью выполняемых технологических операций. Это дает возможность свести большое разнообразие специализированной почвообрабатывающей техники к узкому спектру универсальных и комбинированных орудий. На рис. 2 представлена совокупность факторов, обеспечивающих эффективность внедрения блочно-модульных принципов построения лесохозяйственных орудий.

В настоящее время блочно-модульный принцип построения орудий и агрегатов нашел широкое распространение в сельском хозяйстве, в частности при разработке почвообрабатывающих и посевных агрегатов [8, 9, 10, 11].

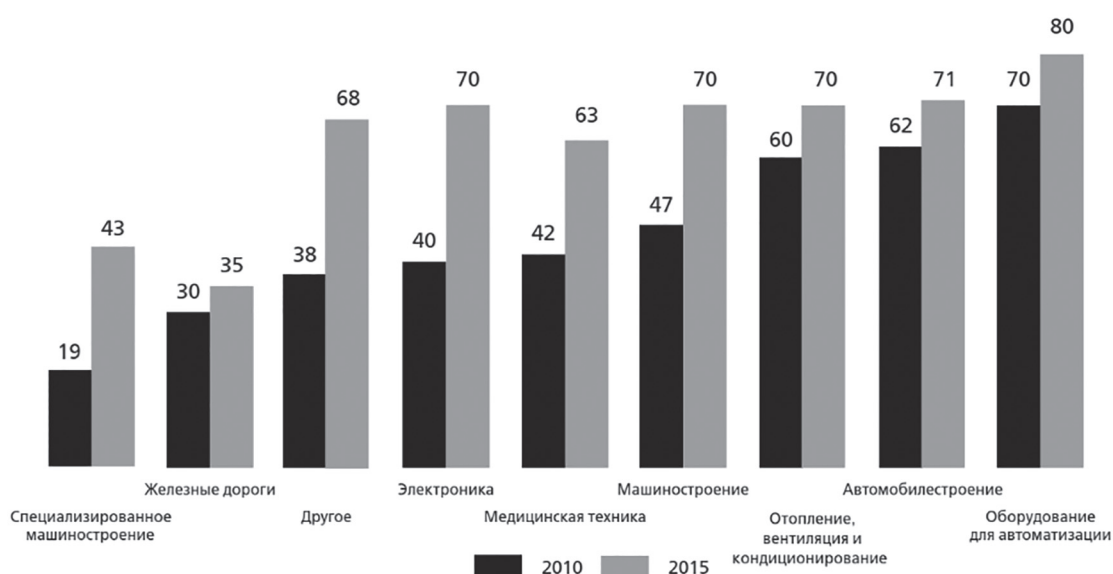


Рис. 1. Доля продуктов, базирующихся на модульных платформах по отраслям, в 2010–2015 гг. (%)



Рис. 2. Факторы, обеспечивающие эффективность внедрения блочно-модульной концепции построения лесохозяйственных орудий

В лесном хозяйстве блочно-модульное построение почвообрабатывающих орудий не нашло широкого применения. Поэтому преобладают конструкции, приспособленные к выполнению одной технологической операции в рамках определенной технологии [12, 13, 14, 15]. В то же время все это разнообразие специализированных машин остается невостребованным, т.к. лесные хозяйства на современном этапе развития не способны закупать и эксплуатировать широкий спектр оборудования и ограничиваются весьма узким набором морально устаревших почвообрабатывающих орудий.

### Цель исследования

Указанные выше обстоятельства делают актуальной задачу создания многофункционального орудия, построенного на основе блочно-модульной компоновки, позволяющего совмещать технологические операции и выполнять их за один проход агрегата с высоким качеством при меньших энергетических, матери-

альных и трудовых затратах. При этом должны прорабатываться варианты орудий для работы в агрегате с тракторами тягового класса 1,4 т.с. и тракторами тягового класса 3,0 т.с. с высокой степенью унификации основных элементов.

Блочно-модульная компоновка почвообрабатывающих орудий позволит снизить затраты на производство и обеспечить высокую гибкость в регулировках, дающую возможность компоновать орудие в зависимости от конкретных потребностей и природных условий. В результате хозяйства могут ограничиться меньшим набором необходимых почвообрабатывающих орудий за счет повышения их универсальности, что будет способствовать значительному снижению затрат и увеличению рентабельности в условиях рыночных отношений.

### Методы и средства проведения исследований

Для решения поставленной задачи нами предлагается многофункциональное модульное орудие, имеющее универсальную раму,

оснащенную индивидуальными предохранительными механизмами и комплектуемую различными рабочими и вспомогательными органами в зависимости от выполняемой технологической операции.

На рис. 3 представлены 3D-модели модулей рабочих органов, адаптированные к использованию с универсальной рамой.

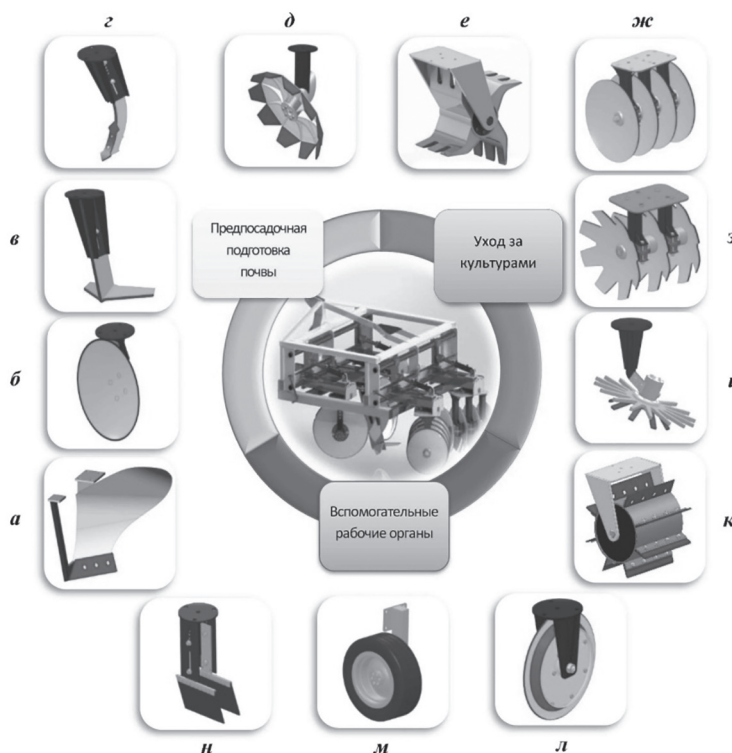
На рис. 4 показаны три варианта рам модульного орудия: однобрусная рама для работы с тракторами 1,4 т.с.; двубрусная рама для работы с тракторами 3 т.с. и однобрусная передненавесная рама для тракторов, оборудованных передним навесным устройством.

На рис. 5 показана конструкция двубрусной модульной рамы с разнесенным положением модулей. Первичный модуль рамы состоит из сцепного устройства 1, основных поперечных брусьев 2, пары цилиндрических поперечных направляющих 3, их кронштейнов крепления 4, опорных брусьев 5, верхнего поперечного бруса 6, стыковочных фланцев 7 и кареток 8, соединенных с винтовыми механизмами 9 продольного перемещения грядилей 10, оснащенных механизмами регулировки углов рабочих органов в вертикальной и горизонталь-

ной плоскостях 11. Конструкция вторичного модуля рамы идентична конструкции первого, за исключением отсутствия сцепного устройства 1. Модули соединяются между собой при помощи основных продольных брусьев 12, верхних продольных брусьев 13, раскоса 14 и болтовых крепежных элементов 15.

Предохранительные механизмы состоят из гидроцилиндров 16 и пневмогидроаккумулятора 17.

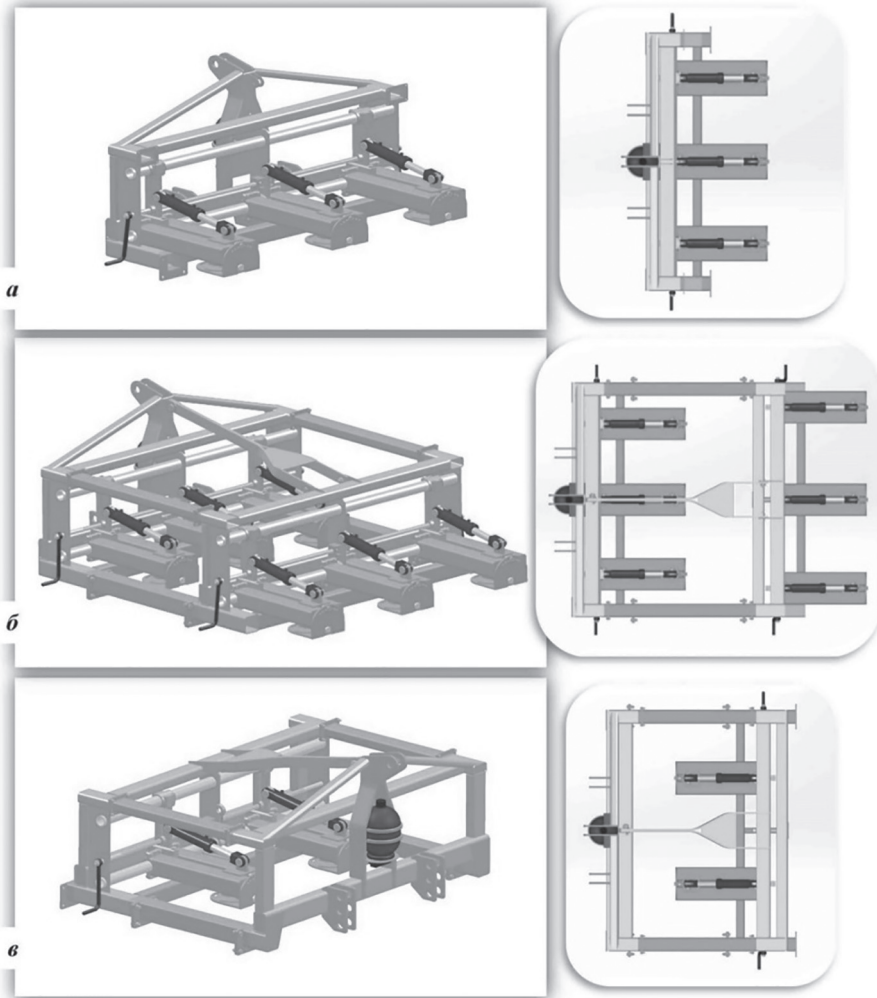
На рис. 6 представлена конструкция передненавесной модульной рамы с разнесенным положением модулей. Она состоит из сцепного модуля и вторичного модуля, полностью аналогичного использованному на задненавесной раме (рис. 5). В свою очередь сцепной модуль представляет собой упрощенный вариант первичного модуля задненавесной рамы и состоит из сцепного устройства 1 основных поперечных брусьев 2, вертикальных кронштейнов 3, верхнего поперечного бруса 4, стыковочных фланцев 5. Модули соединяются между собой при помощи элементов, аналогичных использованным в двубрусной раме, – это основные продольные брусья 6, верхние продольные брусья 7, раскос 8 и болтовые крепежные



**Рис. 3. Рабочие органы модульного агрегата:**

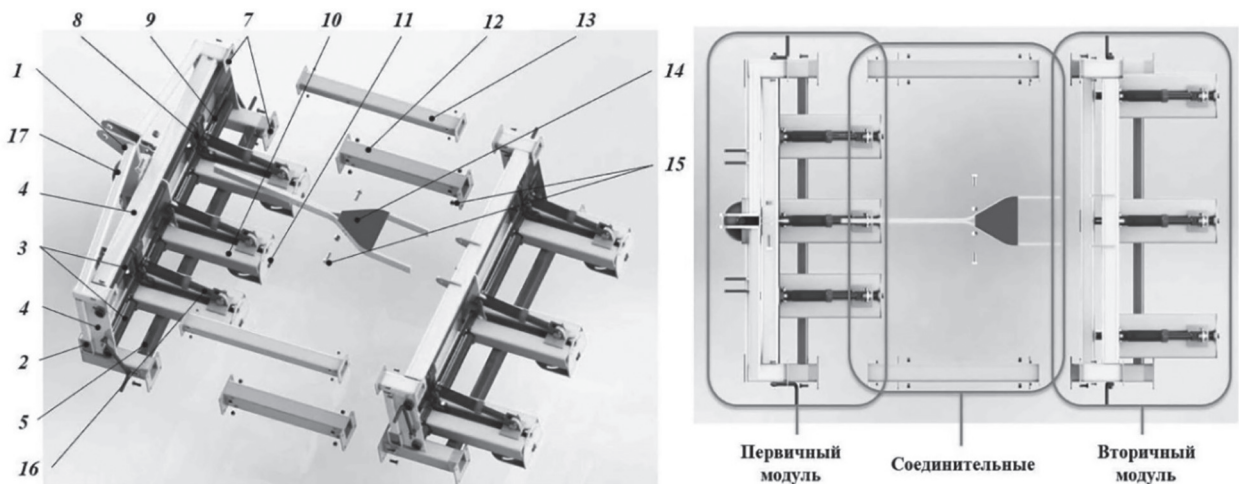
*а* – лемешный одноотвальный; *б* – дисковый плужный; *в* – лемешный плоскорезущий; *г* – глубокорыхлящий; *д* – дисковый рыхлящий; *е* – ножевой дискретный; *жс* – батарея четырехдисковая культиваторная; *з* – батарея трехдисковая с вырезными дисками; *и* – рыхлящий для ухода в рядке; *к* – кусторезный; *л* – опорный дисковый нож; *м* – опорное колесо; *н* – защитный экран





**Рис. 4. Рамы модульных орудий:**

*а* – однобрусная рама для работы с тракторами 1,4 т.с.; *б* – двубрусная рама для работы с тракторами 3 т.с.; *в* – однобрусная передненавесная рама



**Рис. 5. Модульная задненавесная рама почвообрабатывающего агрегата с разнесенными модулями**

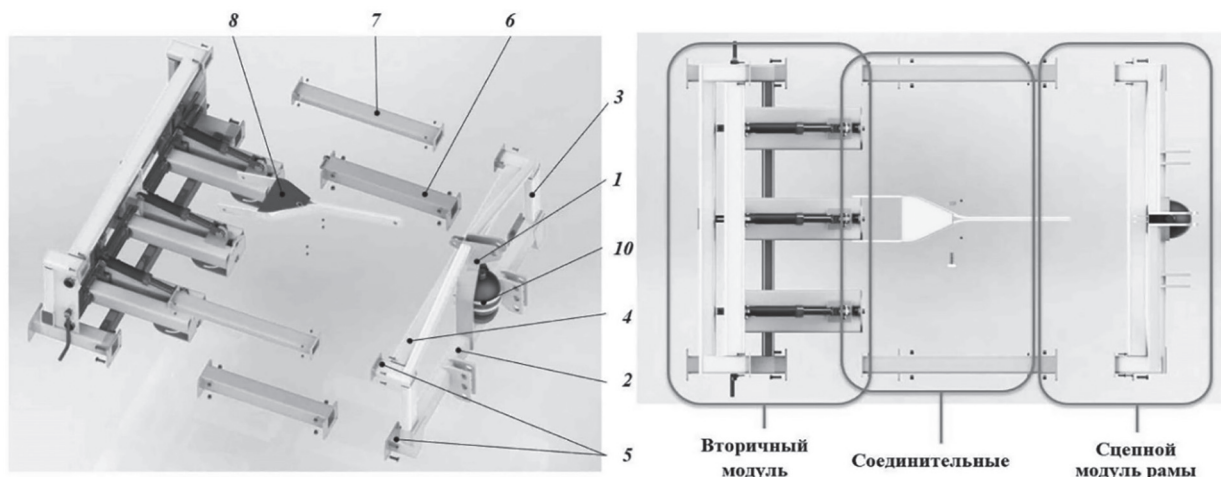


Рис. 6. Модульная передненавесная рама почвообрабатывающего агрегата с разнесенными модулями

соединения 9. Предохранительные механизмы также состоят из гидроцилиндров 10 и пневмогидроаккумулятора 11.

Таким образом, модульная концепция построения лесных почвообрабатывающих и посадочных орудий позволяет выполнять одним орудием, оснащенным различными типами рабочих органов, практически все основные операции по обработке почвы и частично – по посадке культур.

На рис. 7 показаны перспективные конструкции модульных орудий, способные эффективно заменить существующие на данный момент классы орудий, в рамке – специализированные орудия, которые не могут быть в полной мере реализованы в рамках модульной концепции.

Анализ возможных вариантов компоновки показывает, что все операции по основной подготовке почвы в различных лесных условиях могут быть выполнены модульными орудиями.



Рис. 7. Почвообрабатывающие и посадочные орудия, применяемые при лесовосстановлении на вырубках

При этом доступны шесть типов орудий:

- лемешные плуги;
- дисковые плуги;
- плоскорезные плуги;
- глубокорыхлители;
- плуги-рыхлители;
- орудия дискретной подготовки почвы.

Операции по проведению агротехнических уходов также могут быть практически полностью реализованы с применением следующих модульных орудий:

- дисковые культиваторы;
- лаповые культиваторы;
- дисковые бороны;
- ротационные культиваторы;
- катки-осветители.

Единственным специализированным почвообрабатывающим орудием, которое сложно реализовать в рамках модульного подхода, является лесной дискатор, имеющий значительную ширину захвата и индивидуальные предохранители для каждого рабочего органа.

На рис. 7 были рассмотрены только однобрусные орудия. Они предназначены для использования с тракторами тягового класса 1,4 т.с. (рис. 8, *а*). При этом в случае применения

более мощных тракторов, а также наличия переднего навесного устройства возможно комплектование МТА с двухрядным (рис. 8, *б*) (двубрусное орудие на задней навеске или однобрусные на передней и задней навесках) и трехрядным расположением рабочих органов (рис. 8, *в*) (однобрусное на передней и двубрусное на задней навеске), что позволяет одновременно выполнять несколько технологических операций. Так, на рис. 8, *б* представлен вариант МТА, выполняющий одновременно две операции – прокладку двухотвальной борозды и дополнительную культивацию посадочного места. На рис. 8, *в* дополнительно задействовано переднее навесное устройство, на котором установлен клавишный кусторезный каток, предварительно уничтожающий молодую древесную поросль нежелательных пород. При такой компоновке МТА достигается совмещение трех технологических операций.

Однако даже при использовании однобрусных задненавесных орудий обеспечивается их высокая адаптивность, достигаемая за счет модульной конструкции.

Так, на рис. 9, *а* представлен МТА на базе лемешного однобрусного плуга, предназначенного

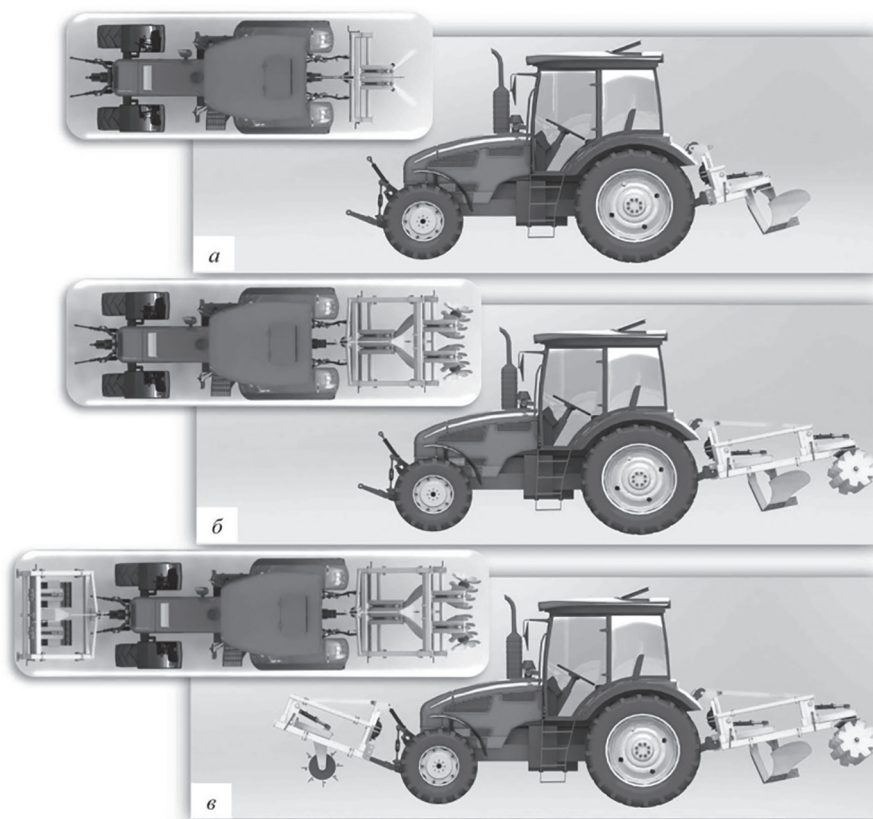
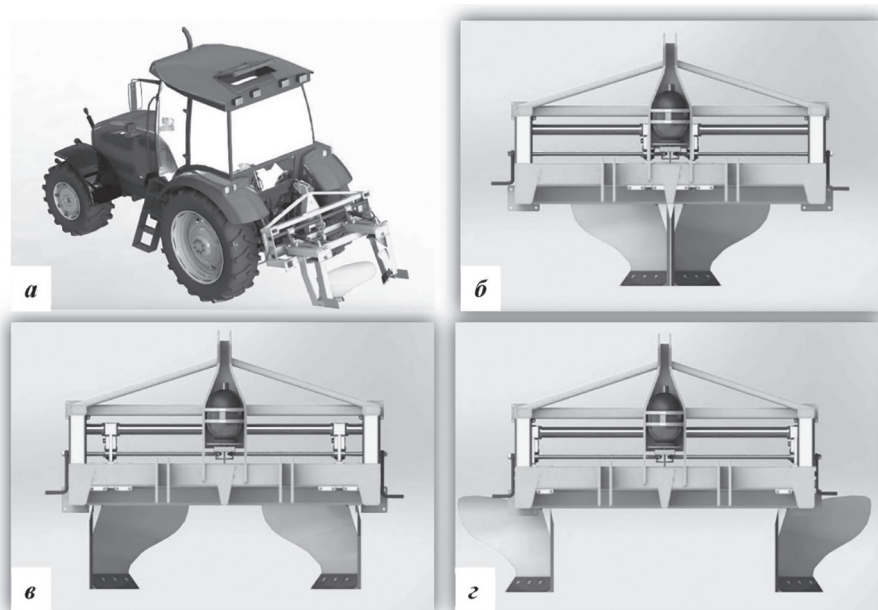


Рис. 8. Возможные варианты компоновки МТА на базе многофункционального лемешного плуга:

*а* – для тракторов 1,4 т.с.; *б* – для тракторов 3 т.с.; *в* – для тракторов 3 т.с., оснащенных передним навесным устройством





**Рис. 9. Лемешный многофункциональный модульный плуг:**

*a* – общий вид МТА; *б* – плуг, настроенный для создания одной двухотвальной борозды; *в* – плуг, настроенный для создания посадочных гряд; *г* – плуг, настроенный для создания двух одноотвальных борозд

для осуществления одной технологической операции за один проход – основной подготовки почвы. Его гибкая модульная конструкция позволяет адаптировать варианты его компоновки под разные почвенные условия.

Первый вариант компоновки плуга предназначен для нарезки двухотвальных борозд на вырубках с дренированными почвами (рис. 9, б) и способен эффективно заменить использующиеся на данный момент плуги ПКЛ-70, ПЛ-1, ПЛД-1,2.

Второй вариант предназначен для образования микроповышений на временно переувлажненных почвах (рис. 9, в) и способен эффективно заменить использующиеся на данный момент плуги ПЛМ 1,3, ПЛМ-1,5.

Третий вариант предназначен для одновременной нарезки двух борозд с пластами, отваленными наружу (рис. 9, г). Аналогом данного варианта является плуг ПЛ-2-50.

## Выводы

Применение блочно-модульных принципов построения почвообрабатывающих орудий и комплектуемых на их базе МТА позволяет снизить затраты на производство и обеспечить высокую гибкость в регулировках. Это дает возможность компоновать орудие в зависимости от конкретных потребностей и природных условий. В результате хозяйства могут ограничиться меньшим набором необходимых почво-

обрабатывающих орудий за счет повышения их универсальности, что будет способствовать значительному снижению затрат и увеличению рентабельности в условиях рыночных отношений.

## Литература

1. Gebhardt N., Bahns T., Krause D. An example of visually supported design of modular product families // *Procedia CIRP*. 2014. No. 21. P. 75–80.
2. Jose A., Tollenaere M. Modular and platform methods for product family design: literature analysis // *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2005. No. 3. P. 371–390.
3. Martinez M., Xue D. Development of adaptable products based on modular design and optimization methods // *Procedia CIRP*. 2016. No. 50. P. 70–75.
4. Mutingi M., Dube P., Mbohwa C. A. Modular product design approach for sustainable manufacturing in a fuzzy environment // *Procedia Manufacturing*. 2017. No. 8. P. 471–478.
5. Scherer H., Albers A., Bursac N. Model based requirements engineering for the development of modular kits // *Procedia CIRP*. 2017. No. 60. P. 145–150.
6. Wasley N.S., Lewis P.K., Mattson C.A., Ottosson H.J. Experimenting with concepts from modular product design and multi-objective optimization to benefit people living in poverty // *Development Engineering*. 2017. No. 2. P. 29–37.
7. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ: учеб. пособие / под ред. М.С. Липецкой, С.А. Шмелевой. СПб., 2013. 80 с.



8. Бартенев И.М., Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Донцов И.Е. Многофункциональный лесной плуг // Лесотехнический журнал. 2017. № 3. С. 193–200.
9. Дементьев А.М. Обеспечение энергосбережения в технологических процессах обработки почвы путем оптимального проектирования комбинированных агрегатов блочно-модульной структуры : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 21 с.
10. Джаббаров Н.И., Добринов А.В., Федькин Д.С. Алгоритм определения технологических параметров энергоэффективных почвообрабатывающих машин блочно-модульной структуры // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 86. С. 19–33.
11. Мазитов Н.К., Шарафиев Л.З., Садриев Ф.М., Рахимов З.С., Дмитриев С.Ю. Теоретические основы проектирования унифицированных блочно-модульных почвообрабатывающих машин // Вестник БГАУ. 2013. № 2. С. 93–98.
12. Бартенев И.М., Донцов И.Е., Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Сенькин И.Л. Современные лесные дисковые плуги-рыхлители // Лесотехнический журнал. 2017. № 1. С. 168–176.
13. Бартенев И.М. Экологизация процесса освоения вырубок под лесные культуры // Лесотехнический журнал. 2012. № 1. С. 121–127.
14. Luf, M., Dey D., Navarro R., Jacobs D. Mechanical site preparation for forest restoration // New Forests. 2012. No. 5–6 (43). P. 825–848.
15. Vasilenko V.V., Afonichev D.N., Vasilenko S.V., Khakhulin A.N. Increase of rotation angle of soil layers during plow operation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. No. 4 (327). P. 042114.
5. Scherer H., Albers A., Bursac N. Model based requirements engineering for the development of modular kits. Pro-cedia CIRP. 2017. No. 60, pp. 145–150.
6. Wasley N.S., Lewis P.K., Mattson C.A., Ottosson H.J. Experimenting with concepts from modular product design and multi-objective optimization to benefit people living in poverty. Development Engineering. 2017. No. 2, pp. 29–37.
7. Knyaginina V.N. Modul'naya revolyuciya: rasprostraneniye modul'nogo dizajna i chpoha modul'nyh platform [Modular revolution: the spread of modular design and the era of modular platforms]: ucheb. posobie. Pod red. M. S. Lipeckoj, S. A. SHmelevoj. SPb., 2013. 80 p.
8. Bartenev I.M., Lysych M.N., SHabanov M.L., Doncov I.E. Multifunctional forest plow. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2017. No 3, pp. 193–200 (in Russ.).
9. Dement'ev A.M. Obespecheniye ehnergoberezeniya v tekhnologicheskikh processah obrabotki pochvy putem op-timal'nogo proektirovaniya kombinirovannyh agregatov blochno-modul'noj struktury : avtoref. diss. ...kand. tekhn. nauk [Ensuring energy saving in technological processes of tillage by optimal design of combined units of block-modular structure: abstract to dissertation for degree of Ph.D. (Engineering)]. SPb., 2011. 21 p.
10. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Fed'kin D.S. Algorithm for determining the technological parameters of energy-efficient soil tillage machines of block-modular structure. Tekhnologii i tekhnicheskije sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2015. No 86, pp. 19–33 (in Russ.).
11. Mazitov N.K., SHarafiev L.Z., Sadriev F.M., Rahimov Z.S., Dmitriev S.YU. Theoretical foundations of the design of unified modular tillage machines. Vestnik BGAU. 2013. No 2, pp. 93–98 (in Russ.).
12. Bartenev I.M., Doncov I.E., Lysych M.N., SHabanov M.L., Sen'kin I.L. Modern forest disc noninverting plow. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2017. No 1, pp. 168–176 (in Russ.).
13. Bartenev I.M. Ecologization of the process of development of clearings for forest crops. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2012. No 1, pp. 121–127 (in Russ.).
14. Luf, M., Dey D., Navarro R., Jacobs D. Mechanical site preparation for forest restoration. New Forests. 2012. No. 5-6(43), pp. 825–848.
15. Vasilenko V.V., Afonichev D.N., Vasilenko S.V., Khakhulin A.N. Increase of rotation angle of soil layers during plow operation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. No. 4 (327), pp. 042114.

## References

1. Gebhardt N., Bahns T., Krause D. An example of visually supported design of modular product families. Procedia CIRP. 2014. No. 21, pp. 75–80.
2. Jose A., Tollenaere M. Modular and platform methods for product family design: literature analysis. Journal of Intelligent Manufacturing. 2005. No. 3, pp. 371–390.
3. Martinez M., Xue D. Development of adaptable products based on modular design and optimization methods. Pro-cedia CIRP. 2016. No. 50, pp. 70–75.
4. Mutingi M., Dube P., Mbohwa C. A. Modular product design approach for sustainable manufacturing in a fuzzy environment. Procedia Manufacturing. 2017. No. 8, pp. 471–478.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00920.*