

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ  
НА СТРУКТУРУ КОРНЕОБИТАЕМОГО СЛОЯ ПОЧВЫ

М.А. Nagayka, S.G. Shchukin, V.A. Golovatyuk

THE INVESTIGATION OF THE IMPACT OF VIBRATION OF SUBSOILER'S WORKINGBODIES  
ON THE STRUCTURE OF ROOT LAYER OF THE SOIL

**Нагайка М.А.** – канд. техн. наук, доц. каф. технологических машин и технологий машиностроения Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск. E-mail: Mnaagayka@mail.ru

**Щукин С.Г.** – канд. техн. наук, доц., зав. каф. технологических машин и технологий машиностроения Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск. E-mail: shykin.sergei@mail.ru

**Головатюк В.А.** – доц. каф. технологических машин и технологий машиностроения Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск. E-mail: shykin.sergei@mail.ru

**Nagayka M.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technological Machines and Technologies of Mechanical Engineering, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. E-mail: Mnaagayka@mail.ru

**Shchukin S.G.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technological Machines and Technologies of Mechanical Engineering, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. E-mail: shykin.sergei@mail.ru

**Golovatyuk V.A.** – Assoc. Prof., Chair of Technological Machines and Technologies of Mechanical Engineering, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. E-mail: shykin.sergei@mail.ru

Исследование воздействия вибрации рабочих органов глубокорыхлителя на структуру корнеобитаемого слоя почвы выполнено в Новосибирском районе Новосибирской области на выщелоченном чернозёме. Полевые исследования проведены с использованием экспериментального образца вибрационного глубокорыхлителя ГВ-1,8, оснащённого инерционным вибровозбудителем планетарного типа. Оценка агротехнических показателей работы вибрационного глубокорыхлителя выполнялась по методикам, утверждённым действующими государственными стандартами. Установлено, что использование вибрации рабочих органов позволяет значительно повысить качество выполнения основной безотвальной обработки почвы по нескольким показателям. Колебательные движения рабочих органов глубокорыхлителя способствуют более эффективному резанию стерни, снижению угла раскрытия борозды и количества выносимых на поверхность глыб, что позволило повысить сохранение стерни на 29 %, снизить глыбистость поверхности поля на 18, гребнистость на 9,5 %. Анализ почвенных образцов показал, что вибрационное воздействие позволило снизить плотность обработанной почвы на 0,12 г/см<sup>3</sup> за счёт интенсификации крошения почвенного пласта, выражающейся в увеличении количества и дальности распространения трещин в почвенном массиве. Анализ энергетических показателей работы вибрационного глубокорыхлителя в различных режимах работы показал, что использование вибрации рабочих органов на стерневом фоне позволило снизить тяговое сопротивление на 14,4 %.

**Ключевые слова:** вибрационный глубокорыхлитель, вибровозбудитель, структура почвы, безотвальная обработка.

*The investigation of the effect of vibration of working bodies of subsoiler on the structure of root layer of the soil performed in Novosibirsk district of Novosibirsk Region on leached chernozom. Field experiments were performed us-*

*ing an experimental sample of vibrating subsoiler GV-1.8, equipped with inertial exciter of a planetary type. Evaluation of agrotechnical performance of vibrating subsoiler was carried out according to the methods approved by the current state standards. It is established that using of vibration of working bodies allows improving significantly the quality of the performance of deep soil loosening according to several parameters. Oscillatory movements of working bodies of the subsoiler contribute to more efficient cutting of the stubble and decrease in opening angle of the furrow and the amount of soil clods brought to the surface of soil. Analysis of soil samples showed that vibration effect allowed reducing the density of treated soil by 0.12 g/cm<sup>3</sup> due to the intensification of the crumbling of the soil layer, which is manifested in the increase in the number and range of propagation of cracks in soil mass. An analysis of energy performance of vibrating subsoiler in various modes of work showed that using of vibration of working bodies reduced traction resistance by 14.4 %.*

**Keywords:** vibrating subsoiler, vibro-exciter, soil structure, deep loosening.

**Введение.** Одним из наиболее значимых факторов, лимитирующих урожайность сельскохозяйственных культур, является структура корнеобитаемого слоя почвы, определяющая её водный, воздушный и питательный режимы. На фоне обостряющихся проблем переуплотнения и эрозии почв достижение рациональной почвенной структуры за счёт использования классических приёмов основной обработки становится всё более сложной задачей [1]. Актуальной научной проблемой является совершенствование технологии улучшения агрофизических свойств антропогенно переуплотнённого корнеобитаемого слоя почвы за счёт использования вибрации рабочих органов почвообрабатывающих машин.

**Цель исследований.** Повысить эффективность основной безотвальной обработки антропогенно переуплотнённого корнеобитаемого слоя почвы путём использования вибрации рабочих органов глубокорыхлителя.

**Объекты и методы исследований.** Объект – процесс основной безотвальной обработки почвы с использованием энергии вибрации, передаваемой в почву через рабочие органы глубокорыхлителя. Предмет исследования – влияние вибрации рабочих органов глубокорыхлителя на агротехнические показатели выполнения безот-

вальной обработки почвы. Полевые исследования проведены с использованием экспериментального образца вибрационного глубокорыхлителя ГВ-1,8 (рис. 1), оснащённого инерционным вибровозбудителем планетарного типа [2].



*Рис. 1. Вибрационный глубокорыхлитель ГВ-1,8*

Исследования выполнены в Новосибирском районе Новосибирской области. Почва на опытном поле представлена выщелоченным чернозёмом с мощностью гумусового горизонта в пределах 0,41–0,45 м. Содержание гумуса на опытных участках варьировалось в пределах 3,5–5 %. Величина рН гумусового горизонта слабокислая, с глубиной возрастающая до слабощелочной [3]. На поле, выделенном для проведения экспериментов, возделывалась яровая пшеница по технологии прямого посева, в результате чего почва подверглась значительному переуплотнению. Плотность почвы в слоях 0–0,1; 0,1–0,2; 0,2–0,3; 0,3–0,4 м составляла соответственно 1,38; 1,41; 1,42; 1,35 г/см<sup>3</sup>. Агротехнический фон был представлен стернёй зерновых. Обработка выполнялась на глубину 0,4 м.

Оценка агротехнических показателей работы вибрационного глубокорыхлителя выполнялась согласно ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний». С целью детального изучения воздействия энергии вибрации на почвенную структуру отбирались почвенные пробы ненарушенного строения размером 0,2×0,2×0,1 м (рис. 2).

Эксплуатационные и энергетические показатели работы вибрационного глубокорыхлителя определялись в соответствии с ГОСТ Р 52777-2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» и ГОСТ Р 52778-2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки».



*Рис. 2. Отбор почвенных проб для структурного анализа*

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате выполненных исследований установлено, что на рабочей скорости 2,5 м/с, при обработке на глубину 0,4 м в режиме работы с включенным вибровозбудителем, передающим энергию вибрации на рабочие органы, по сравнению с режимом работы с выключенным вибровозбудителем, достигается снижение глыбистости поверхности поля на 18 %; гребнистости на 9,5; сохранение стерни повышается на 29 % [4].

При движении рабочих органов без вибрации на их поверхности происходит образование почвенного ядра, а перед ними – опережающего конуса из уплотнённой почвы [5]. При контакте с рабочим органом почва поднимается клином вверх и выступает на поверхность, что сопровождается раскрытием борозды и разрывом стерни. Поскольку рыхлительная стойка глубокорыхлителя, имеющая форму дуги, располагается вертикально, значительное повреждение стерни происходит из-за угла резания, близкого к нулю, т.е. осуществления нормального резания (рубки). Это приводит к разрыву стерни на части, которые отбрасываются в сторону от борозды, нередко с частичным оборотом (рис. 3).

При использовании вибрации рабочих органов примыкающий к ним слой почвы начинает колебаться и переходит в псевдооживленное состояние [6]. Псевдооживленный слой не способен передавать значительные нагрузки, в результате чего снижается уплотнение в опережающем конусе за счёт изменения направления движения почвенных частиц [7]. Этот эффект, с одной стороны, приводит к снижению непроизводительных затрат мощности на уплотнение почвы рабочими органами, с другой стороны – обеспечивает более равномерное выступание разуплотнённой почвы, не приводящее к раскрытию борозды.

За счёт возвратно-поступательного движения рабочих органов стерня разрезается в режиме, подобном резанию со скольжением, что также снижает её деформацию. Таким образом, стерня разрезается с меньшим усилием и без значительного сдвига (рис. 4). В случае, если борозда не раскрывается на значительный угол, а стерня сохраняется, почвенные глыбы остаются под покровом стерни и не выносятся на поверхность, что обеспечивает снижение глыбистости поверхности поля и позволяет избежать необходимости выполнения дополнительных поверхностных обработок.



Рис. 3. Поверхность поля после прохода ГВ-1,8 на скорости 2,5 м/с без вибрации



Рис. 4. Поверхность поля после прохода ГВ-1,8 на скорости 2,5 м/с с вибрацией



При снижении поступательной скорости рабочих органов с 2,5 до 0,83 м/с вибрационные эффекты проявляются сильнее ввиду увеличения интенсивности воздействия энергии вибрации на почвенный массив за счёт роста

количества импульсов, передаваемых на единицу пути (рис. 5). Такой режим работы позволил достичь сохранения стерни на уровне 92 % и глыбистости на уровне 3 %.

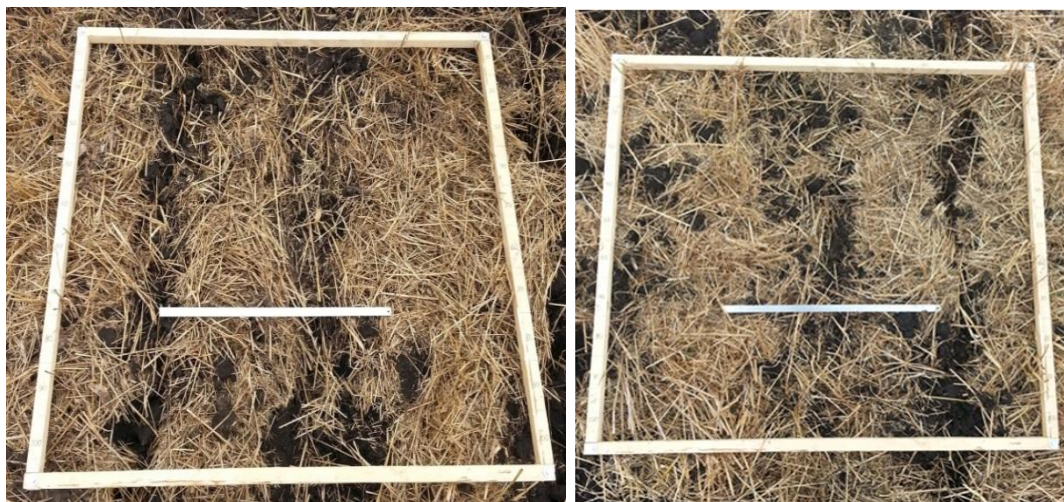


Рис. 5. Поверхность поля после прохода ГВ-1,8 на скорости 0,83 м/с вибрацией

К аналогичным выводам о характере воздействия вибрации на почвенную структуру можно прийти, используя данные, полученные в результате поперечного профилирования поверхности поля. В режиме работы без вибрации рабочие органы глубокорыхлителя оставляют глубокую раскрытую борозду. Поверхность поля между проходами покрыта почвенными глыбами (рис. 6).

При использовании вибрации рабочих органов профиль поля имеет ровную, без резких перепадов, форму, незначительно отличающуюся от прямой линии. Из этого вытекает, что при разуплотнении почвы и увеличении её объёма она выступает на поверхность более равномерно (рис. 7). Данный факт свидетельствует о повышении качества обработки за счёт увеличения количества и даль-

ности распространения образующихся в почвенном массиве трещин.

При анализе отобранных почвенных образцов обнаружено, что после проходов в режиме работы с вибрацией трещины, образующиеся в почве, распространяются на значительно большее расстояние. Почвенные образцы, взятые с участков, обработанных без вибрации рабочих органов, после высушивания были монолитны. Учитывая, что расстояние от проходов рабочих органов, на котором эти образцы отбирались, составляет 0,2 м (рис. 8), можно утверждать, что трещины распространялись на расстояние 0,2–0,22 м. Это согласуется с тем, что классическая расстановка рабочих органов глубокорыхлителей выполняется на расстоянии 0,4–0,45 м для обеспечения перекрытия проходов.

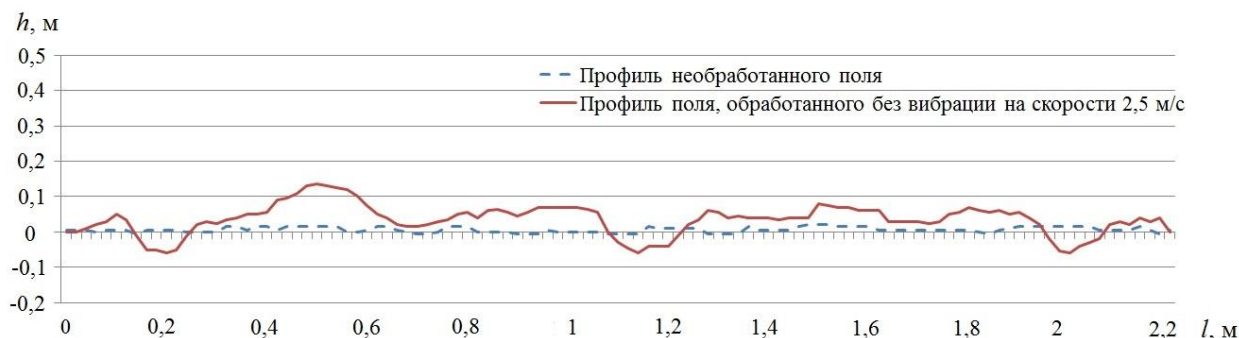


Рис. 6. Поперечный профиль поля после прохода ГВ-1,8 без вибрации рабочих органов на скорости 2,5 м/с

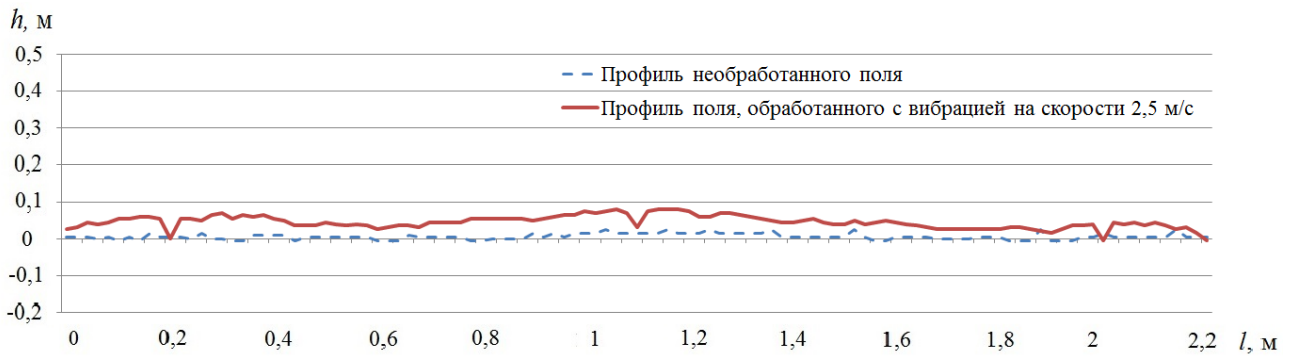


Рис. 7. Поперечный профиль поля после прохода ГВ-1,8 с вибрацией рабочих органов на скорости 2,5 м/с

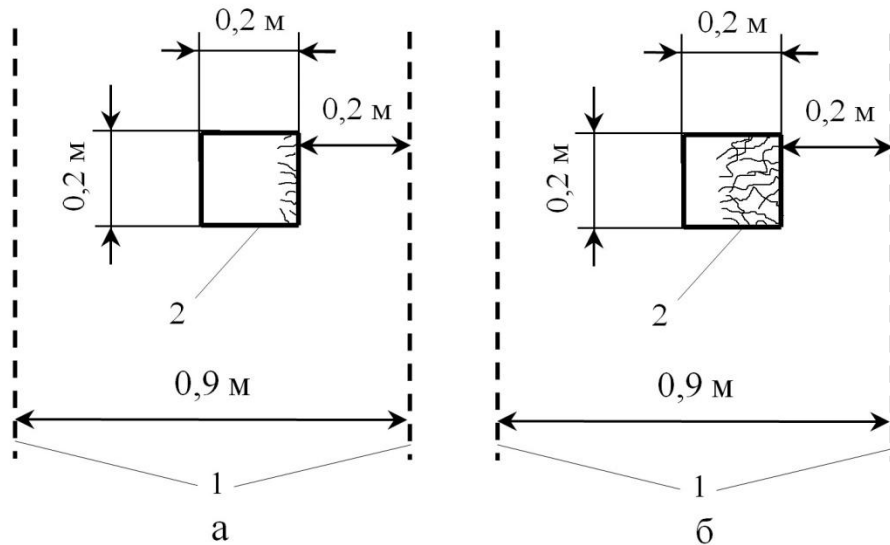


Рис. 8. Схема отбора почвенных проб для анализа: а – без вибрации рабочих органов; б – с вибрацией рабочих органов; 1 – проход рабочего органа; 2 – место взятия пробы

При изучении почвенных образцов с участков, на которых включенный вибровозбудитель передавал энергию вибрации рабочим органам, было установлено, что после высыхания они были пронизаны сетью трещин. Данный факт свидетельствует о преобладающем распространении сети трещин на расстояние 0,25–0,3 м и в ряде случаев дальше. Интенсификация процесса крошения за счёт воздействия энергии вибрации обеспечила снижение плотности обработанной почвы с 1,19 до 1,02 г/см<sup>3</sup>.

При определении энергетических показателей работы вибрационного глубокорыхлителя установлено, что использование вибрации рабочих органов снижает их тяговое сопротивление. Это объясняется несколькими причинами. Образование псевдооживленного слоя почвы в зоне контакта с рабочим органом, с одной стороны, снижает затраты энергии на уплотнение впереди лежащего почвенного горизонта, с другой стороны – происходит уменьшение силы трения рабочего органа с почвой, поскольку при псевдооживлении сыпучей среды снижаются коэффициенты как внутреннего, так и внешнего динамического трения. Также к факторам, приводящим к снижению тягового сопротивления, стоит отнести уменьшение размеров и ускорение схода с рабочей поверхности стоек почвенного ядра, имеющего больший коэффициент трения с почвой, нежели материал рабочих органов [5]. Кро-

ме того, происходит снижение усилия резания стерни. В результате проведённых опытов на стерневом фоне вибрация рабочих органов позволила снизить тяговое сопротивление с 28,5 до 24,4 кН, или на 14,4 %.

### Выводы

1. Использование энергии вибрации рабочих органов глубокорыхлителя позволяет повысить эффективность процесса основной безотвальной обработки почвы за счёт вибрационных эффектов, возникающих при взаимодействии рабочих органов с почвой.
2. Использование энергии вибрации рабочих органов глубокорыхлителя на скорости 2,5 м/с, при обработке на глубину 0,4 м, по сравнению с режимом работы без вибрации, обеспечивает снижение глыбистости поверхности поля на 18 %, гребнистости – на 9,5 %, сохранение стерни повышается на 29 %.
3. Импульсное воздействие рабочих органов на почвенный массив увеличивает количество и длину образующихся в нём трещин, способствуя снижению плотности обработанной почвы, которое в наших опытах составило от 1,19 до 1,02 г/см<sup>3</sup>.

4. Воздействие вибрации рабочих органов глубокорыхлителя на почвенную структуру позволяет снизить его тяговое сопротивление на 14,4 %.

действующих с почвой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.410. – Омск, 1965. – 21 с.

#### Литература

1. Нагайка М.А. Повышение продуктивности пашни путём разуплотнения переуплотнённых почв // Вестн. ИрГСХА. – 2013. – Вып. 58. – С. 116–122.
2. Патент РФ на изобретение № 2578745, В06В1/16. Вибровозбудитель / С.Г. Шукин, В.В. Альт, М.А. Нагайка, В.А. Вальков. – Заявл. 15.12.2014, опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9. – 6 с.
3. Петрук В.А. Агротехнические особенности возделывания огурца на семена в Новосибирской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05. – М., 2012. – 129 с.
4. Нагайка М.А., Шукин С.Г., Головатюк В.А. Исследование рабочего процесса вибрационного глубокорыхлителя // Вестн. Алтай. гос. аграр. ун-та. – 2015. – № 6. – С. 110–114.
5. Шукин С.Г. Совершенствование уплотняющих ротационных рабочих органов с использованием методов моделирования процесса их взаимодействия с почвой: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01. – Краснообск, 1999. – 185 с.
6. Harrison H.P. Draft, torque, and power requirements of a simple-vibratory tillage tool // Canadian agricultural engineering. – 1973. – V. 15, № 2. – P. 71–74.
7. Зоненберг Р.М. Исследование влияния вибрации на тяговое сопротивление рабочих органов, взаимо-

#### Literatura

1. Nagajka M.A. Povyshenie produktivnosti pashni putjom razuplotne-nija pereuplotnjonnyh pochv // Vestn. IrGSHA. – 2013. – Vyp. 58. – S. 116–122.
2. Patent RF na izobrenenie № 2578745, B06B1/16. Vibrovobuditel' / S.G. Shhukin, V.V. Al't, M.A. Nagajka, V.A. Val'kov. – Zajavl. 15.12.2014, opubl. 27.03.2016. Bjul. № 9. – 6 s.
3. Petruk V.A. Agrotehniicheskie osobennosti vzdelyvanija ogurca na semena v Novosibirskoj oblasti: dis. ... kand. s.-h. nauk: 06.01.05. – M., 2012. – 129 s.
4. Nagajka M.A., Shhukin S.G., Golovatjuk V.A. Issledovanie rabocheho processa vibracionnogo glubokoryhlitelja // Vestn. Altaj. gos. agrar. un-ta. – 2015. – № 6. – S. 110–114.
5. Shhukin S.G. Sovershenstvovanie uplotnjajushhih rotacionnyh rabo-chih organov s ispol'zovaniem metodov modelirovanija processa ih vzaimo-dejstvija s pochvoj: dis. ...kand. tehn. nauk: 05.20.01. – Krasnoobsk, 1999. – 185 s.
6. Harrison H.P. Draft, torque, and power requirements of a simple-vibratory tillage tool // Canadian agricultural engineering. – 1973. – V. 15, № 2. – P. 71–74.
7. Zonenberg R.M. Issledovanie vlijanija vibracii na tjagovoe soprotivlenie rabo-chih organov, vzaimodejstvujushhih s pochvoj: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.410. – Omsk, 1965. – 21 s.

УДК 644.8:658.562.5

Д.М. Счисленко, А.В. Бастрон

#### МОБИЛЬНАЯ ГЕЛИОСУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ ПЛОДОВ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

D.M. Schislenko, A.V. Bastron

#### MOBILE HELIODRYING INSTALLATION FOR DRYING FRUIT OF BERRY CULTURES

**Счисленко Д.М.** – асп. каф. электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: abastron@yandex.ru

**Бастрон А.В.** – канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: abastron@yandex.ru

**Schislenko D.M.** – Post-Graduate Student, Chair of Power Supply of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: abastron@yandex.ru

**Bastron A.V.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Power Supply of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: abastron@yandex.ru

Разработана мобильная гелиосушильная установка для сушки плодов ягодных культур с использованием солнечной энергии, принцип работы которой заключается в том, что селективный материал под действием солнечных лучей нагревается и передает тепловую энергию в виде инфракрасного излучения внутрь корпуса. Селективный материал состоит из алюминиевой пластины с нанесенным электрохимическим способом меди с поглощательной способностью 0,95 и степенью черноты 0,05. Свободно пропускает и поглощает инфракрасные лучи (при этом сам является отражателем для теплового излучения), повышающие производительность сушильных установок, а также увеличивает температуру в гелиосушильной установке на 2,5–3,5 °С. При недостаточной солнечной радиации в качестве источника инфракрасного излучения используются пленочные электронагреватели (ПЛЭН). Материал, расположенный на сетке, под воздействием инфракрасных лучей высушивается в 2,5 раза быстрее при наличии двух пленочных электронагревателей, затраты на электроэнергию при этом сокращаются на 25 %. При применении двух ПЛЭНов в мобильной гелиосушильной

установке для сушки плодов ягодных культур с использованием солнечной энергии, принцип работы которой заключается в том, что селективный материал под действием солнечных лучей нагревается и передает тепловую энергию в виде инфракрасного излучения внутрь корпуса. Селективный материал состоит из алюминиевой пластины с нанесенным электрохимическим способом меди с поглощательной способностью 0,95 и степенью черноты 0,05. Свободно пропускает и поглощает инфракрасные лучи (при этом сам является отражателем для теплового излучения), повышающие производительность сушильных установок, а также увеличивает температуру в гелиосушильной установке на 2,5–3,5 °С. При недостаточной солнечной радиации в качестве источника инфракрасного излучения используются пленочные электронагреватели (ПЛЭН). Материал, расположенный на сетке, под воздействием инфракрасных лучей высушивается в 2,5 раза быстрее при наличии двух пленочных электронагревателей, затраты на электроэнергию при этом сокращаются на 25 %. При применении двух ПЛЭНов в мобильной гелиосушильной