

Николай Васильевич Цугленок

Восточно-Сибирская ассоциация биотехнологических кластеров, вице-президент, научный руководитель, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Красноярск, Россия
esa_btc@mail.ru

Василий Николаевич Романов

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ КНЦ РАН, главный научный сотрудник лаборатории сортовых агротехнологий, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Красноярск, Россия
kraniisch@yandex.ru

**О ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ШТЫРЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ**

Цель исследования – разработать энергоэкономичную технологию вертикально-штыревой обработки почвы, изготовить и испытать опытный образец роторного рыхлителя почвы. На момент начала данного проекта и решения этой проблемы в России получены два патента: № 2671480 от 31.10.2018 г. и № 2732021 от 10.09.2020 г. на технологии глубокой штыревой обработки почвы. В первом варианте технология реализуется с помощью металлического барабана диаметром от 2,5 м и более с установленными на его поверхности штырями длиной 25 см и более, изготовленного по принципу широкого велосипедного колеса от 3 м и более, закрепленного осью на раме, которая цепляется к трактору, и барабан, перекачиваясь по почве, под действием собственного веса рыхлит почву. Чем больше диаметр барабана, тем меньше энергетические затраты на рыхление почвы и тем больше нетехнологический вес такого агрегата. Для исключения этого противоречия разработана новая технология рыхления почвы специальным роторным глубокорыхлителем почвы по патенту № 2732021 от 10.09.2020 г., основанная на отношении разницы в длине радиуса приводных колес диаметром в 3 м со специальными грунтозацепами, расположенными на наружной поверхности 2 колес, с передачей энергии вращения от них штифтовыми редукторами, размещенными на внутренней поверхности колес, к ротору глубокорыхлителя диаметром в 50 см. В ООО «НПО ТЕХНОРОС» был спроектирован и изготовлен такой агрегат, и на опытном поле проведены его производственные испытания. Проведено осеннее щелевание стернового поля, динамометром замерялось тяговое сопротивление агрегата, при глубине обработки почвы в 15,5 см составляющее 3,5 кН/м. Рабочая скорость движения агрегата составляла более 12 км/ч, и при наличии 3 секций с шириной захвата одной секции 3 м с трактором типа К-700 производительность составляла 10 га/ч.

Ключевые слова: почва, технология, штыревой глубокорыхлитель, роторный рыхлитель, энергетический доход, коэффициент энергетического совершенства.

Nikolay V. Tsuglenok

East Siberian Association of Biotechnological Clusters, Vice President, Scientific Supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia
esa_btc@mail.ru

Vasily N. Romanov

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, FRC KSC RAS, Chief Researcher, Laboratory of Varietal Agricultural Technologies, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Krasnoyarsk, Russia
kraniisch@yandex.ru

VERTICAL-PIN TILLAGE EFFECT ON WHEAT YIELD

The purpose of the study is to develop an energy-efficient technology for vertical-pin tillage, to manufacture and test a prototype of a rotary soil cultivator. At the time of the start of this project and the solution of this problem, two patents were obtained in Russia: No. 2671480 dated October 31, 2018 and No. 2732021 dated September 10, 2020 on the technology of deep pin tillage. In the first version, the technology is implemented using a metal drum with a diameter of 2.5 m or more with pins 25 cm or more long installed on its surface, made according to the principle of a wide bicycle wheel from 3 m or more, fixed by an axle on a frame that clings to a tractor, and the drum, rolling over the soil, loosens the soil under its own weight. The larger the drum diameter, the lower the energy consumption for loosening the soil and the greater the non-technological weight of such a unit. To eliminate this contradiction, a new technology has been developed for loosening the soil with a special rotor subsoiler of soil according to patent No. 2732021 dated 09/10/2020, based on the ratio of the difference in the length of the radius of the drive wheels with a diameter of 3 m with special lugs located on the outer surface of 2 wheels, with a transmission rotational energy from them by pin gearboxes located on the inner surface of the wheels to a subsoiler rotor with a diameter of 50 cm. NPO TEKHNOROS LLC designed and manufactured such a unit and conducted its production tests on an experimental field. An autumn slitting of the stubble field was carried out, the traction resistance of the unit was measured with a dynamometer, at a soil cultivation depth of 15.5 cm it was 3.5 kN/m. The working speed of the unit was more than 12 km/h, and in the presence of 3 sections with a working width of one section of 3 m with a tractor of the K-700 type, the productivity was 10 ha/h.

Keywords: soil, technology, pin subsoiler, rotary cultivator, energy income, energy excellence coefficient.

Введение. Сегодня большинство предприятий Российской Федерации и ближнего зарубежья при выращивании сельскохозяйственных культур использует традиционные (классические) методы обработки почвы – вспашка, культивирование, боронование и т. д.

Плуги, культиваторы, бороны внедряют в почву, а тяговая техника их перемещает по полю, преодолевая сопротивление пласта земли, расположенного впереди рабочих органов. За многие столетия при основной обработке почвы ничего не изменилось. Раньше в соху, затем в плуг запрягали лошадей, а сейчас запрягают уже мощные колесные тракторы типа К-700, не меняя энергетические принципы основной плужной обработки почвы [1, 2].

Таким образом, самыми энергоемкими процессами почвообработки в системе производства растениеводческой продукции, особенно зерновых культур, является вспашка плугами, плоскорезная обработка, обработка тяжелыми дисковыми боронами и обработка паровых полей дискаторами, требующими своей замены на новые энергетические способы обработки почвы и исключения использования тяжелых и энергоемких орудий по осенней зяблевой обработке почвы [3, 4].

Рассмотрим простой пример: если взять обыкновенные вилы для перекопки почвы и погрузить их рабочий орган в землю, потом надавить на противоположный конец черенка, то пласт почвы под действием вил довольно легко сдвинется и рассыплется. Этот пример показывает действие закона рычагов Архимеда. Архимед говорил: «Дайте мне точку опоры и я переверну Землю». Н.В. Цугленок нашел эту точку опоры на поверхности земли и рычагом Архимеда легко перевернул ее вращающимся барабаном со штырями [5].

Цель исследования – разработать энергоэкономичную технологию вертикально-штыревой обработки почвы, изготовить и испытать опытный образец роторного рыхлителя почвы.

Объекты и методы исследования. На момент начала исследования в области технологии штыревой обработки почвы получены два патента: № 2671480 от 31.10.2018 г. [5] и № 2732021 от 10.09.2020 г. [6]. Оба патента касаются способа и устройства агрегатов для вертикально-штыревой обработки почвы, при этом имеют существенные отличия по предлагаемым устройствам рыхлительных агрегатов как в принципиальных подходах к способу рыхления, так и в конструктивных решениях.

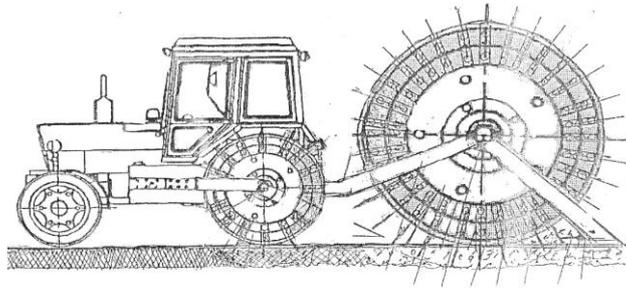


Рис. 1. Схема работы тракторного агрегата с глубокорыхлителем почвы

Для выбора варианта разработки и изготовления оборудования по проекту необходимо было провести исследование штыревой технологии рыхления по обеим технологиям и устройствам вертикально-штыревой обработки почвы. Вначале проводилось исследование и расчеты по патенту № 2671480 [4].

Результаты исследования и их обсуждение. Для определения взаимодействия штыря с различными видами почвы и особенности рыхления при радиальном и линейном перемеще-

нии рыхлительного органа и получения исходных данных для расчетов были изготовлены макеты-имитаторы и проведены предварительные испытания на различных почвах.

Первый экспериментальный макет рыхлителя по варианту патента № 2671480 представлял из себя радиальный сегмент с сваренными в него штыревыми зубьями, имитирующий часть обечайки барабана большого диаметра в 2000 мм (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальный макет рыхлителя почвы

В результате проведенных исследований было установлено, что единственный штыревой зуб сдвигает и разрыхляет почву в радиусе 30–40 мм вокруг себя, причем близкое расположение зубьев по фронту рыхления приводит к сдвигу пластов почвы от соседних зубьев навстречу друг другу, что приводит к спрессовыванию почвы и пожнивных остатков в межштыревом пространстве рабочего органа, по этой причине была выявлена необходимость изменения геометрии штыревого зуба, загнутого в сторону движения агрегата по полю.

В упрощенном варианте технологии реализуются использованием металлического барабана большого диаметра от 2,5 м и более, изготовленного по принципу широкого велосипедного колеса шириной от 3 м и более, с установленными на его поверхности штырями длиной 25 см и более, своей осью прикрепленного к раме, рама

цепляется к трактору и барабан под действием собственной массы при бесконечно вращательном движении штырями рыхлит почву. Выигрыш по энергетике равен отношению длины рычажных спиц такого колеса к длине штырей, закрепленных в обечайке барабана. Такой агрегат работает по принципу вил, используемых садоводами для ручного вертикального рыхления почвы. Например, при длине радиуса 160 см приводных колес диаметром 320 см и длине штырей роторного барабана 25 см (глубина обработки почвы) от точки опоры наружной поверхности барабана тяговое усилие снижается кратно отношению этих длин ($160:25 = 6,4$) – в 6,4 раза в сравнении с принятой обработкой почвы. Чем больше диаметр барабана, тем меньше энергетические затраты на рыхление и, к сожалению, тем больше нетехнологическая масса такого агрегата.

Для исключения противоречия (снижения нетехнологической массы при снижении энергозатрат на почвообработку при барабанном способе обработки почвы) разработана новая технология рыхления почвы специальными роторными глубокорыхлителями почвы 3, 4, 5 по патенту № 2732021 от 10.09.2020 г., основанная на отношении разницы в длине радиуса рычагов от осей 9 до обечайки колес увеличенного диаметра 2 больших приводных колес со специальны-

ми грунтозацепами 8 диаметром 3 м, с передачей энергии вращения от них штифтовым редуктором 4 к ротору глубокорыхлителя 5 при диаметре вращения штырей 5 диаметром 50 см, размещенных в приводных колесах 8, использующих такой же принцип рычагов Архимеда, как и у барабанного глубокорыхлителя, смонтированного на раме 1 с транспортным механизмом подъема агрегата (рис. 3).

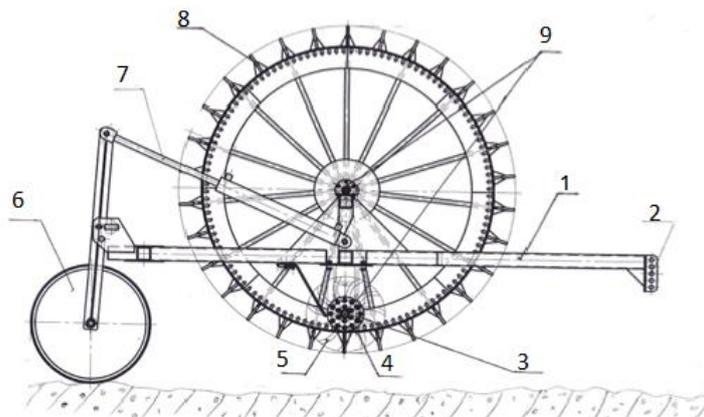


Рис. 3. Принципиальная схема конструкции роторного глубокорыхлителя почвы

Для исследования предлагаемого способа роторной обработки почвы был изготовлен макет-имитатор роторного глубокорыхлителя поч-

вы, представляющего из себя раму, на которой закреплена ось с колесом с приваренными к нему штыревыми зубьями (рис. 4, 5).



Рис. 4. Макет роторного рыхлителя почвы



Рис. 5. Испытание макета роторного рыхлителя почвы

Барабанный макет перемещался по полю с помощью усилия двух человек. Конструкция рамы предусматривала возможность установки на нее дополнительной нагрузки для более полного внедрения штыревых зубьев в почву. В результате этих исследований были подтверждены результаты испытаний первого макета. Для проектирования и изготовления опытного образца глубокорыхлителя была установлена зависимость глубины внедрения штыревых зубьев от вертикальной нагрузки и скорости передвижения по полю.

На основании этих предварительных исследований производилось проектирование и изготовление опытного образца роторного глубоко-

рыхлителя почвы в ООО «НПО ТЕХНОРОС» г. Красноярск под непосредственным руководством генерального директора И.У. Кацера и главного конструктора А.В. Ефимова.

В осенний период проводилось щелевание стерни глубокорыхлителем на глубину 15,5 см, с шириной щелей в 2–4 см и расстоянием между щелями 6–8 см, для ее частичного разрыхления в послеуборочный период и разрушения корневой системы убранных зерновых для предотвращения капиллярного испарения влаги с помощью оставшейся корневой системы из открытых трубочек срезанных растений в осенний и весенний периоды (рис. 6, 7).



Рис. 6. Обработка парового поля роторным глубокорыхлителем почвы



Рис. 7. Щелевание стерни роторным глубокорыхлителем

Щелевание проводилось для замены осенней плужной обработки почвы и накопления влаги в почве при обильных осенних дождях, с последующим замораживанием почвы в зимний период, при котором образовавшийся в почве лед расширяется и поднимает почву, разрыхляя

ее, и при оттаивании почвы в весенний период она становится рыхлой, а снеговая вода насыщает глубокие слои почвы через щели. Данная технология позволяет в весенний период производить посев посевным комплексом, совмещающим культивацию с посевом зерновых.

Результаты и их обсуждение. При испытании глубокорыхлителя при глубине обработки почвы в 15,5 см динамометром замерялось тяговое сопротивление агрегата на стерне, которое составило 3,5 кН/м. Для сравнения у плуга при глубине вспашки в 15,5 см оно составляет 14,5 кН/м, т. е. в 4 раза выше, чем у глубокорыхлителя; у дискатора и щелевателя при глубине обработки 15,5 см тяговое усилие составляет 9,7 кН/м, более чем в 2 раза выше, чем у глубокорыхлителя. Рабочая скорость движения штыревого глубокорыхлителя составляла более

12 км/ч, и при наличии 3 таких секций с шириной захвата одной секции 3 м, агрегируемых трактором типа К-700, производительность такого агрегата составляла 10 га/час. Расход топлива у глубокорыхлителя составляет 4,5 л/га; у дискатора и щелевателя – 8,3; у плугов – 19,39 л/га, что в 2–4 раза ниже, чем у этих агрегатов. Сменная выработка у роторного глубокорыхлителя трактором К-701 с 3 секциями глубокорыхлителей составила 80 га, с плугом – 20 га в смену, у дискатора и щелевателя с трактором К-701 составила 40 га в смену (табл. 1).

Таблица 1

Чувствительность энергопродуктивности ΔE_n яровой пшеницы к антропогенным воздействиям при минимальной обработке почвы при средней урожайности 32 ц/га

Вид энергетического воздействия	Прибавка %	Прибавка ц/га	Прибавка, МДж/га	Затраты, МДж/га	Энергетический доход, МДж/га	Коэффициент энергетического совершенства.
Дискование или щелевание стерни	8	256	3277	556	2721	4,9
Подготовка семян	5	1,60	2048	263	1785	6,7
Культивация-посев + мин. удобрения	10	3,20	4096	2566	1530	0,6
Химпрополка	8	2,56	3277	255	3022	11,8
Уборка урожая	–			580	-580	-1
Сушка и обработка	–			1526	-1526	-1
Сумма антропогенных воздействий	31	9,92	12698	5690	7004	1,2
Экологические	69	22,8	28262	–	28262	5
Всего	100	32	40960	5690	35268	6,2

В сравнении с плугом производительность глубокорыхлителя в 12,6 раза выше, с культиваторами, щелевателями и дискаторами – в 3,2 раза выше. При средней урожайности по Красноярскому краю в 32 ц/га, с принятым для расчетов процентом прибавки урожая от агропрема в 8 % [8, 9], в виде биоэнергетического дохода составляет 3242 МДж/га и превышает затраты

роторного глубокорыхлителя величиной 350 МДж/га в 8,4 раза. У дискатора и щелевателя при затратах в 556 МДж/га доход составляет 2721 и коэффициент энергетического совершенства равен 4,9, что отличается от глубокорыхлителя в сторону уменьшения почти в 2 раза (табл. 2) [10].

**Чувствительность энергопродуктивности ΔE_n яровой пшеницы
к антропогенным воздействиям при минимальной обработке почвы
при средней урожайности 32 ц/га**

Вид энергетического воздействия	Прибавка %	Прибавка ц/га	Прибавка, МДж/га	Затраты, МДж/га	Энергетический доход, МДж/га	Коэффициент энергетического совершенства.
Щелевание стерни глубокорыхлителем	8	2 56	3277	350	2927	8,4
Подготовка семян	5	1,60	2048	263	1785	6,8
Культивация+Посев +мин. удобрения	10	3,20	4096	2566	1530	0,6
Химпрополка	8	2,56	3277	255	3022	11,8
Уборка урожая	–	–	–	580	-580	-1
Сушка и обработка	–	–	–	1526	-1526	-1
Сумма антропогенных воздействий	31	9,92	12698	5273	7425	1,4
Экологические	69	22,08	28262	–	28262	5,4
Всего	100	32	40960	5273	35687	6,8

Выводы. Впервые в научной практике в данном исследовании определен реальный биоэнергетический доход прибавки урожая от агроприемов и территориальной экологической энергии. Аналогично в других проведенных исследованиях определен экономический доход от использования антропогенной и экологической «бесплатной» энергии, превышающий суммарный денежный доход от использования антропогенных источников, и определен коэффициент энергетического совершенства использования агроприемов и территориальной экологической энергии, равной отношению дохода к затратам на его получение [7, 8].

Список источников

1. Концепция информатизации аграрной науки Сибири / П.Л. Гончаров [и др.]; отв. за выпуск А.Ф. Алейников, А.И. Обремченко; СО РАСХН. Новосибирск, 2003.
2. Лапко А.В., Цугленок Н.В., Цугленок Г.И. Имитационные модели пространственно распределенных экологических систем / отв. ред: А.В. Медведев. Новосибирск, 1999.
3. Цугленок Н.В. Концепция устойчивого развития АПК Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 1996. № 1. С. 1.
4. Цугленок Н.В. Формирование и развитие технологических комплексов растениеводства // Вестник КрасГАУ. 1997. № 2.
5. Патент № 2671480. Способ и устройство основной глубокой вертикально-штыревой обработки почвы / Цугленок Н.В. Патенто-обл. Красноярский государственный аграрный университет. Заяв. 31.05.2018.
6. Патент № 2732021. Способ и устройство роторной вертикально-штыревой обработки почвы / Цугленок Н.В., Кацер И.У. Заяв. 10.09.2020.
7. Цугленок Н.В. Энерготехнологическое прогнозирование структуры АПК // Вестник КрасГАУ. 2000. № 5.
8. Цугленок Н.В. Энерготехнологическое прогнозирование: учеб. пособие / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2004.
9. Васько И.А., Яковенко А.В. Слагаемые урожайности // Зерновое хозяйство. 1987. № 1. С. 33–35.
10. Цугленок Н.В., Журавлев С.Ю. Оценка влияния оптимальных показателей работы машинно-тракторных агрегатов на энергозатраты технологического процесса // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10 (49). С. 146–152.
11. Цугленок Н.В. Биоэнергетическая концепция формирования технологических комплексов АПК // Вестник КрасГАУ. 1998. № 3. С. 9.

References

1. Концепция информатизации аграрной науки Сибири / *P.L. Goncharov* [i dr.]; *otv. za vypusk A.F. Alejnikov, A.I. Obremchenko*; SO RASHN. Novosibirsk, 2003.
2. *Lapko A.V., Cuglenok N.V., Cuglenok G.I.* Imitacionnye modeli prostranstvenno raspredelennyh `ekologicheskikh sistem / *otv. red: A.V. Medvedev*. Novosibirsk, 1999.
3. *Cuglenok N.V.* Konceptiya ustojchivogo razvitiya APK Krasnoyarskogo kraja // *Vestnik KrasGAU*, 1996. № 1. S. 1.
4. *Cuglenok N.V.* Formirovanie i razvitie tehnologicheskikh kompleksov rastenievodstva // *Vestnik KrasGAU*. 1997. № 2.
5. Patent № 2671480. Sposob i ustrojstvo osnovnoj glubokoj vertikal'no-shtyреvoj obrabotki pochvy / *Cuglenok N.V.* Patentoobl. Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Zayav. 31.05.2018.
6. Patent № 2732021. Sposob i ustrojstvo rotornoj vertikal'no-shtyреvoj obrabotki pochvy / *Cuglenok N.V., Kacer I.U.* Zayav. 10.09.2020.
7. *Cuglenok N.V.* `Energotehnologicheskoe prognozirovanie struktury APK // *Vestnik KrasGAU*. 2000. № 5.
8. *Cuglenok N.V.* `Energotehnologicheskoe prognozirovanie: ucheb. posobie / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2004.
9. *Vas'ko I.A., Yakovenko A.V.* Slagaemye urozhajnosti // *Zernovoe hozyajstvo*. 1987. № 1. S. 33–35.
10. *Cuglenok N.V., Zhuravlev S.Yu.* Ocenka vliyaniya optimal'nyh pokazatelej raboty mashinno-traktornyh agregatov na `energozatraty tehnologicheskogo processa // *Vestnik KrasGAU*. 2010. № 10 (49). S. 146–152.
11. *Cuglenok N.V.* Bio`energeticheskaya koncepciya formirovaniya tehnologicheskikh kompleksov APK // *Vestnik KrasGAU*. 1998. № 3. S. 9.

Благодарности: данная работа выполнялась при поддержке Краевого фонда науки. Технология и агрегат вертикально-штыревого рыхлителя при соответствующих доработках в 2022 году будут испытаны и рекомендованы в производство АПК Российской Федерации.

