

Научная статья  
УДК 631.3.657  
doi: 10.28983/asj.y2023i7pp112-120

**Моделирование условий щелевания на орошаемых землях юга России  
при возрастающих климатических изменениях**

**Михаил Александрович Бандурин, Денис Владимирович Сухарев, Игорь Александрович Приходько,  
Яна Алексеевна Комсюкова**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия.  
e-mail: chepura@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты численных исследований по совершенствованию существующих орудий для обработки почв, а именно улучшение технических параметров щелевателя-бороздодела, которые позволят повысить водно-физические свойства орошаемых земель юга России при возрастающих климатических изменениях. С каждым годом площади орошаемых земель сокращаются, так как подвергаются воздействию естественных (например, дожди; наводнения; поверхностный сток; пестрота почвенного покрова, влияние микро- и макрорельефа) и антропогенных (например, несоблюдение норм поливов, состава севооборотов, правил обработки почв; внесение неверных доз удобрений; исключение технологических операций с целью экономии ресурсов) факторов. В связи с этим решение проблемы сохранения агроресурсного потенциала земель является актуальной задачей, решение которой гарантирует обеспечение продовольственной безопасности России. Выполнено численное моделирование опасных загрузок технических параметров щелевателя-бороздодела, осуществлен подбор видов и типов оборудования, проведен расчет их параметров, а также организация и технология процессов обработки почв.

**Ключевые слова:** орошаемые земли; обработка почвы; численное моделирование; увлажнение почвы; переувлажнение; климатические изменения.

**Для цитирования:** Бандурин М. А., Сухарев Д. В., Приходько И. А., Комсюкова Я. А. Моделирование условий щелевания на орошаемых землях юга России при возрастающих климатических изменениях // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 112–120. [http: 10.28983/asj.y2023i7pp112-120](http://10.28983/asj.y2023i7pp112-120).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Simulation of slotting conditions on irrigated lands in the south of Russia under increasing climate change**

**Mikhail A. Bandurin, Denis V. Sukharev, Igor A. Prikhodko, Yana A. Komsyukova**

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia.  
e-mail: chepura@mail.ru

**Abstract.** The article considers the results of numerical studies on the improvement of existing tillage tools, namely, the improvement of the technical parameters of the furrower, which will improve the water-physical properties of irrigated lands in southern Russia with increasing climate change. Every year, the areas of irrigated land are reduced as they are exposed to natural (for example, rains; floods; surface runoff; diversity of soil cover, the influence of micro- and macrorelief) and anthropogenic (for example, non-compliance with irrigation norms, crop rotation composition, soil cultivation rules; introducing incorrect doses of fertilizers; exclusion of technological operations in order to save resources) factors. In this regard, the solution to the problem of preserving the agro-resource potential of the lands is relevant, and its solution guarantees the food security of Russia. Numerical modeling of dangerous loadings of the technical parameters of the slotter-furrower has been carried out, the types and types of equipment have been selected, their parameters have been calculated, as well as the organization and technology of tillage processes.

**Keywords:** irrigated lands; tillage; numerical modeling; soil moisture; waterlogging; climate change.

**For citation:** Bandurin M. A., Sukharev D. V., Prikhodko I. A., Komsyukova Ya. A. Simulation of slotting conditions on irrigated lands in the south of Russia under increasing climate change. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(7):112–120. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i7pp112-120](http://10.28983/asj.y2023i7pp112-120).





**Введение.** Природные ресурсы являются основным источником обеспечения всего населения планеты продуктами питания. Одни из важнейших природных ресурсов – это земельные. Данный вид ресурсов требует не только рационального и эффективного использования, но и нуждается в постоянной поддержке его экологического состояния [1]. Для того чтобы обеспечить устойчивое состояние земельных ресурсов с давних времен было разработано комплексное решение в виде организационно-хозяйственных мероприятий, которое получило название «мелиорация».

Рассмотрим такое мелиоративное мероприятие, как орошение, а именно способ полива дождеванием. При поливе дождеванием слабоводопроницаемых почв зачастую скорость впитывания почвой расчетной поливной нормы становится меньше слоя, выпадающего на нее дождя. Стекающая вода уносит с собой в овраги и реки растворимые питательные вещества, частицы почвы. Все это вызывает поверхностную ирригационную эрозию полей, наносит большой ущерб плодородию почв. Особенно четко это прослеживается на посевах многолетних трав, кукурузы и других культур [2], требующих многократных поливов большими нормами (до 700 м<sup>3</sup>/га), где от поливов, а также от действия уборочной и пропашной техники значительно уплотняется весь пахотный слой и, как следствие, снижается водопроницаемость почвы. Заметно снижает водопроницаемость почвы и уплотненная «плужная подошва» [3].

В системе мер, направленных на улучшение водно-физических свойств тяжелых по механическому составу почв при возрастающих климатических изменениях, повышение их водопроницаемости, способствующих улучшению качества полива и повышению эффективности сохранения и экономии оросительной воды, ведущая роль принадлежит технологии и орудиям обработки почвы [4]. Выбором типа рабочих органов почвообрабатывающих машин, их параметров и режима работы можно изменять процесс поглощения воды почвой. Проблема нехватки воды является первостепенной задачей при возрастающих климатических изменениях, ожидается повышение в ближайшие 10 лет средней температуры на 2°C, что приводит к обезвоживанию юга России.

Цель исследования – моделирование условий щелевания вследствие совершенствования орудия для нарезки борозд-щелей и кротовин для аккумуляции поливной воды на дне щели при возрастающих климатических изменениях.

**Методика исследований.** В процессе впитывания поливной воды в почву различают три фазы: инфлюкцию, когда происходит заполнение водой микропустот; впитывание, сопровождаемое заполнением водой микропустот; фильтрацию – направленное движение воды под действием гравитационных сил и градиента напора. Одним из путей интенсификации процесса поглощения воды почвой является стремление расширить условия для протекания фазы инфлюкции при возрастающих климатических изменениях на юге России.

Многолетний опыт возделывания сельскохозяйственных культур при орошении на Юге России, в Средней Азии, опыт передовых хозяйств Волгоградской, Ростовской областей, а также Краснодарского и Ставропольских краев позволяет выделить целесообразные дополнительные приемы обработки почвы, улучшающие промачиваемость и равномерность увлажнения активного слоя при поливе дождеванием нормами 400 м<sup>3</sup>/га и более [5].

Для того чтобы подобрать наиболее оптимальный способ обработки почвы, мы провели анализ ныне существующих с учетом возрастающих климатических изменений. Многократная вспашка верхнего слоя почвы на одинаковую глубину приводит к появлению ниже пахотного горизонта уплотненного слоя почвы – «плужной подошвы» [6]. Она препятствует быстрому продвижению оросительной воды с поверхности поля в нижние слои активного слоя и почвенной влаги из нижних слоев вверх, что актуально для сохранения водных ресурсов. Рыхление этой «подошвы» принято называть почвоуглубителем. Этот агротехнический прием способствует повышению водо- и воздухопроницаемости, что в целом создает благоприятные условия для развития корневой системы растений [7].

Для рыхления «плужной подошвы» можно использовать выпускаемый промышленностью плуг ПЛП-6-35 с рабочими органами-почвоуглубителями. Стрельчатые лапы шириной 180 мм расположены позади корпуса плуга и ниже режущей кромки лемеха, длина которого состав-



ляет 260 мм. В итоге мы получаем ширину лапы в 2 раза меньше ширины захвата лемеха. Почвоуглубители разрыхляют дно борозды на глубину 5–10 см.

Для определения деформаций рабочего органа во время работы на тяжелых грунтах нами было смоделировано воздействие внешних сил по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  в программе Structure CAD. Для постановки расчёта преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели во избежание поломки или деформации носков лемехов о стенку борозды. В итоге исследованиями было установлено, что необходимо укоротить носок лемеха на 25–30 мм параллельно полевой образующей лемеха. На рис. 1 представлены расчетные данные по щелевателю для расчета эпюр внутренних силовых факторов, полученных под воздействием соотношения внешних сил.

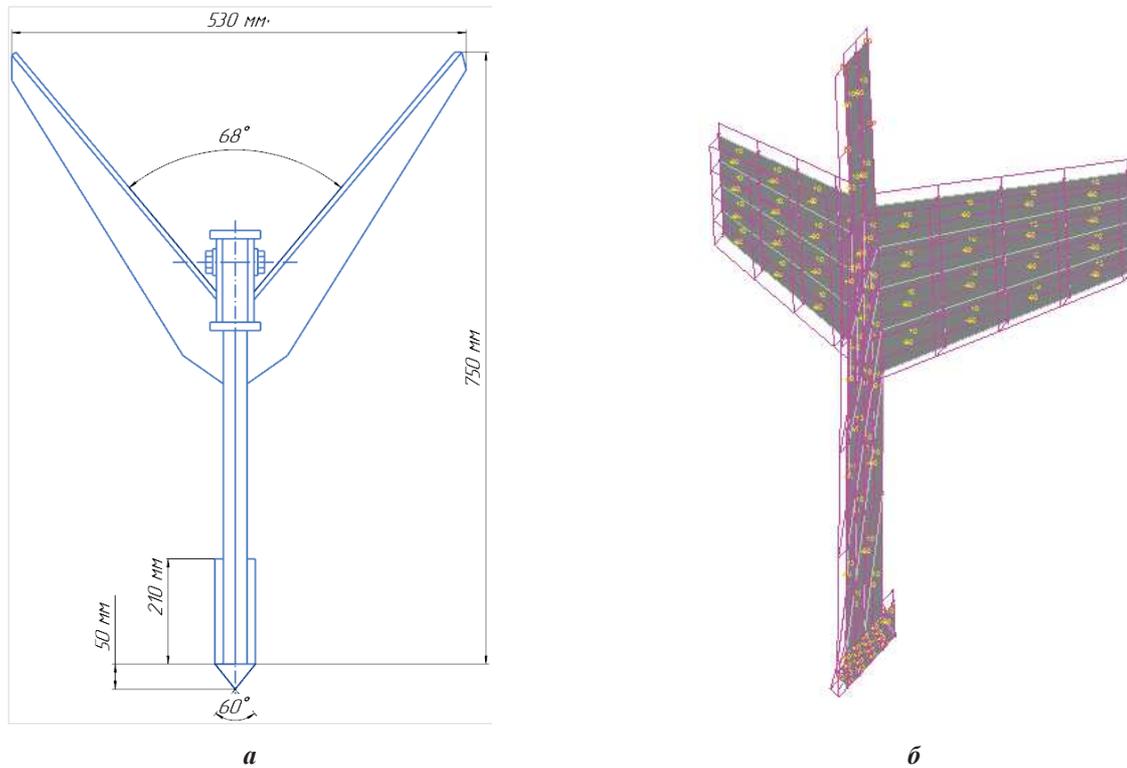
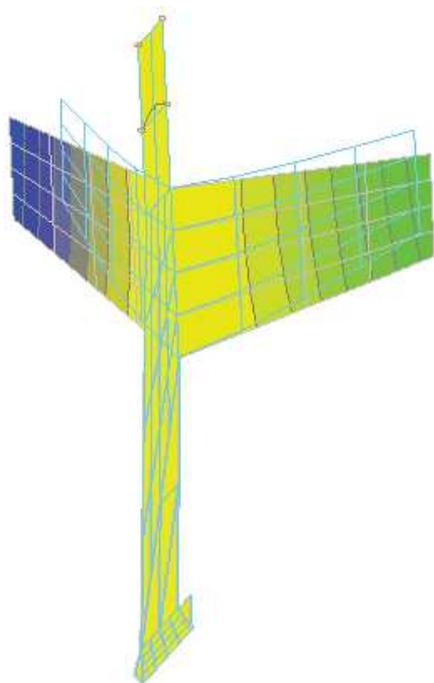


Рис. 1. Необходимые данные для построения твердотельной модели ножа-щелереза: а – параметры рабочего органа; б – твердотельная модель

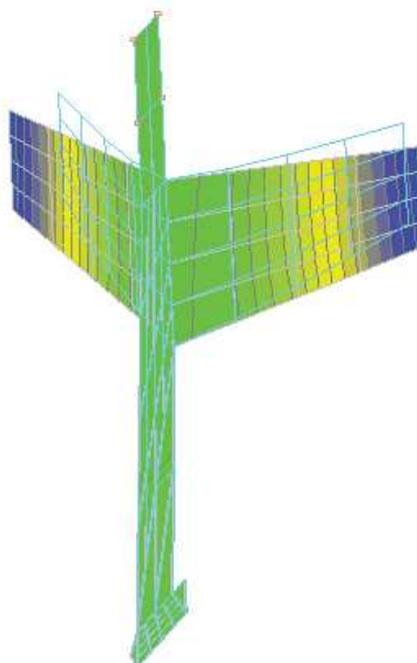
На рис. 2 показаны эпюры деформации по осям  $X$  и  $Y$ , указывающие на деформации у основания режущей части рабочего органа. В ходе теоретических исследований с применением программ Structure CAD было выявлено, что при воздействии внешних сил на рабочий орган во время работы наблюдалась чрезмерная нагруженность носка лемеха. Наблюдаемые в ходе исследований напряжения приводят к деформации и последующему выходу из строя рабочего органа. Таким образом можно предположить, что есть острая необходимость укоротить носок лемеха во избежание выхода из строя рабочего органа.

Изменения формы взрыхленной зоны почвы достигают либо разно углубленным групповым расположением стандартных рабочих органов культиваторов, либо постановкой на одну стойку комбинированных рабочих органов. Расстояние между слоями устанавливают равными 6–8 см конкретные схемы расстановки рабочих органов, универсальных культиваторов зависит от междурядий расположения корней возделываемых растений в почве, связанного с их разновидностью и структурой корневой системы на той или иной фазе развития. Перед смыканием листьев высокостебельных пропашных культур целесообразно провести последнюю обработку почвы в междурядьях, при которой используют бороздоделы, окучники, перемещающие почву к корням растений. Чтобы препятствовать стоку воды, скапливающейся в бороздах в направлении уклона поля, подготавливаемые борозды выполняют прерывистыми [9].

В ходе теоретических исследований с применением программы Structure CAD, сбора информации и обработки данных установлено, что для того чтобы скорректировать и продлить срок



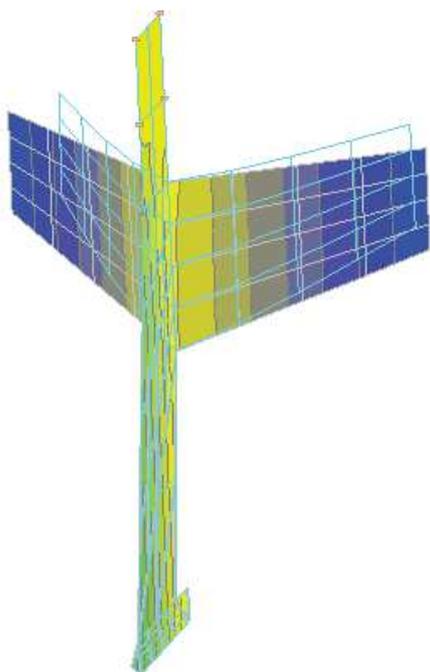
*a*



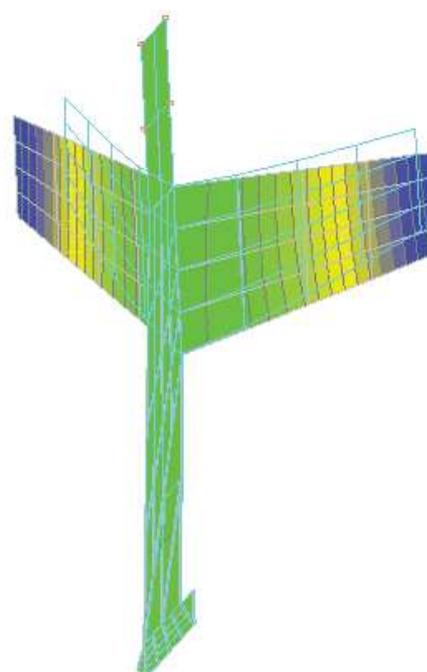
*б*

*Рис. 2. Деформация ножа-щелереза: а – по оси X; б – по оси Y*

службы рабочего органа, на наш взгляд, при работе агрегата периодически необходимо поднимать навесной культиватор и сразу же его опускать, для периодического выглубления продольного бруса с закрепленными рабочими органами. На рис. 3 представлены эпюры деформации ножа на основании которых производился сбор и обработка данных.



*a*



*б*

*Рис. 3. Деформация ножа-щелереза: а – по оси Z; б – суммарные деформации*

Приемы обработки почвы в таких условиях требуют получения прищелевого валика наименьшей высоты, который бы не вызывал угнетения растений и в последующем не создавал затруднений при уборке урожая на требуемой агротехникой высоте среза. Также было изучено щелевание



вегетирующих посевов [10]. На долголетних культурных пастбищах, посевах люцерны и других многолетних трав под действием вытаптывания скотом при стравливании, движущихся по полю различных машин, участвующих в уборке урожая, создаются условия усиления поверхностного стока воды.

На рис. 4 представлены эпюры напряжений показывающие, что после нагревания стойка может потерять несущую способность. По нашему мнению, опираясь на теоретические исследования по резанию грунта, мы можем предположить, что изменение угла резания позволит значительно снизить, нагрев стойки вовремя резания грунта.

Работы по щелеванию вегетирующих узкорядных посевов отвечает главному требованию – получению наибольшей зоны деформации (рыхления) почвы с созданием условий для быстрого впитывания поступающей на поверхность поля поливной воды и увеличению допустимой интенсивности дождевания, а также созданию вдоль щели валика наименьшей высоты [11].

Щелеватель-рыхлитель представленного принципа действия несет режущую кромку, отклоненную назад по направлению движения, что создает возможность разрезать корневую массу с подпором почвы, и планку в нижней части долота, обеспечивающую получение увеличенного объема рыхлой почвы. Обе эти особенности принципа действия позволяют взрыхлить большой объем почвы в активном слое на глубину до 45 см без выворачивания корней растений на дневную поверхность. После прохода рабочего органа полученная щель заполняется взрыхленной почвой, осыпающейся с кромок валика. Оптимальные параметры ножа: толщина ножа-щелереза 25–30 мм, угол наклона лезвия  $20^\circ$ , угол заострения  $45^\circ$ , ширина долота 60–70 мм. Согласно исследованиям, для ножей с такими параметрами в условиях светло-каштановых почв Волгоградской области по критериям средней твердости почвы в зоне деформации на глубине до 40 см и впитывающей способности почвы около щелей оптимальной можно считать глубину щелевания 35–40 см. Для проведения щелевания рабочий орган щелереза-рыхлителя можно установить на универсальной раме каналокопателя КЗУ-0,3 с помощью дополнительной пластины, на раме навесного плуга вместо первого и последнего корпуса при снятых всех других, на раме культиватора плоскореза-глубокорыхлителя КПГ-2-150 и др. Агрегатируют эти орудия с гусеничными тракторами класса 30 кН. Данный рабочий орган нарезает борозды-щели размерами: глубина борозды – 20 см, ширина по верху – 40 см, глубина щели – 15 см, ширина щели – 5 см, заложение откосов 1:1.

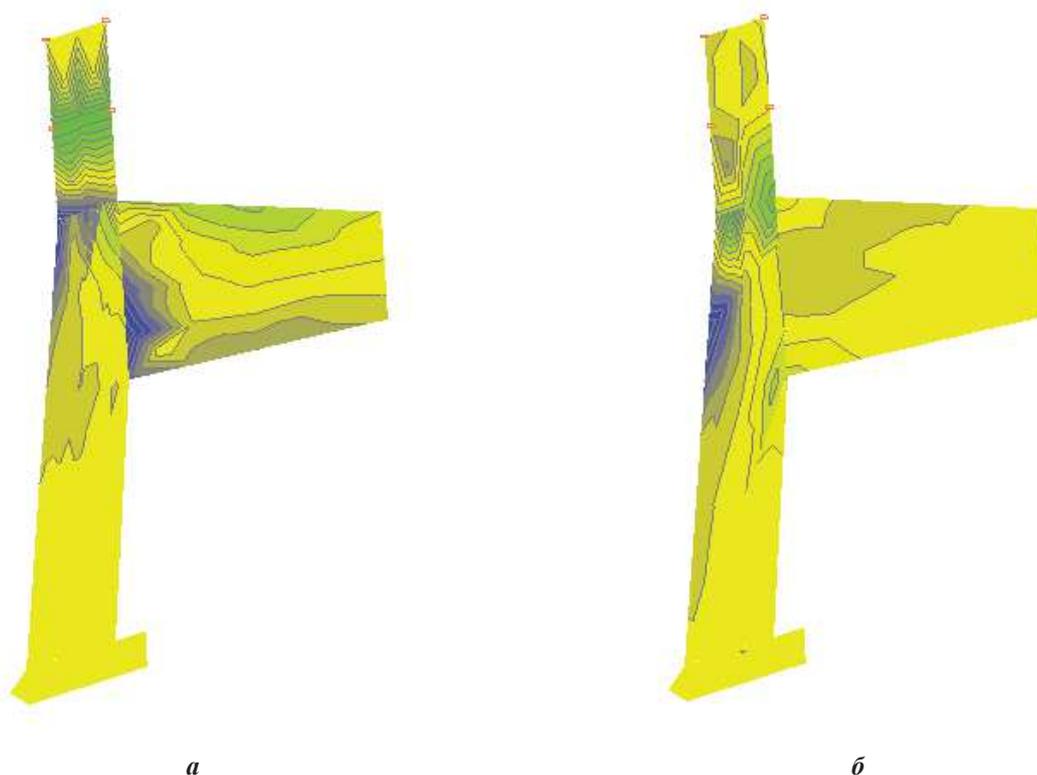


Рис. 4. Напряжения ножа-щелереза: а – вид напряжения  $\sigma_x$ ; б – вид напряжения  $\tau_{xy}$



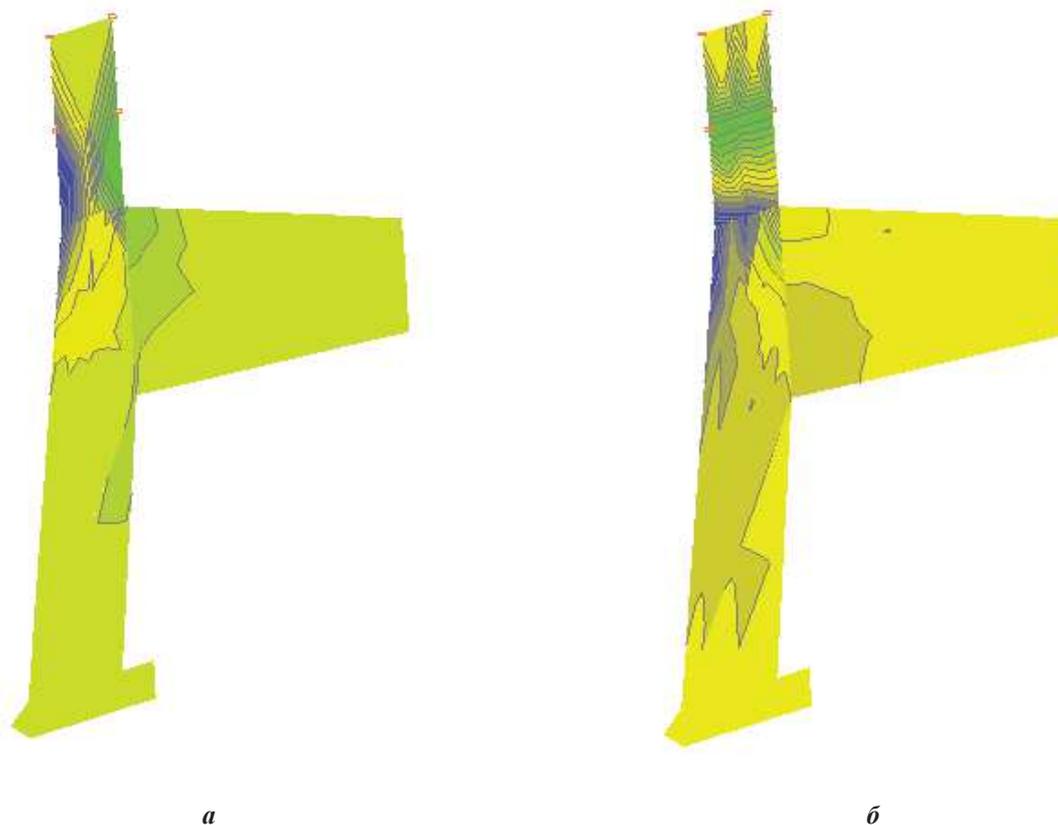


Рис. 5. Напряжения ножа-щелереза: а – вид напряжения  $\sigma_y$ ; б – вид напряжения  $\tau_{xz}$

На рис. 5 представлено численное моделирование навесного бороздоделателя-щелереза с применением программы Structure CAD на котором рассчитаны опасные области нагрузок основания и рабочего органа, которые могут привести к разрушению стойки ножа во время работы.

Рабочими органами являются корпуса с закрепленными на них сменными наральниками. Корпусы своей направляющей частью стойки входят в обоймы и фиксируются болтами в зависимости от требуемой глубины борозд-щелей. Бороздоделатель-щелерез навешивается на тракторы МТЗ-5, МТЗ-7; МТЗ-50 и Т-38, при навешивании на трактор наральники должны быть параллельны горизонтальной плоскости, что достигается регулированием вертикальными тягами навески. Состоит из рамы, трех обойм с крышками и корпусами, которые удерживаются крышками и могут свободно перемещаться при отпущенных болтах в нужном направлении на заданную ширину междурядий [12].

Регулирование глубины нарезания и подъем в транспортное положение осуществляются с помощью рычага распределителя гидросистемы трактора. Габаритные размеры бороздоделателя-щелереза: длина – 1000 мм, ширина 520 мм, высота – 930 мм, масса – 220 кг. Бороздоделатель-щелерез обслуживается одним трактористом.

Борозды-щели нарезаются за один проход орудия. На бороздоделателе-щелерезе могут быть смонтированы два или три корпуса, в первом случае расстояние между бороздами будет до 200 см, во втором до 60–70 см. Производительность бороздоделателя-щелереза БЩК-3 при нарезке борозд-щелей через 70 см 0,8–0,9 га/ч.

Обзор существующих средств механизации для подготовки сельскохозяйственных полей к поливу показал, что для нарезки поливных борозд и щелевания почв перед поливом наиболее эффективно применять комбинированный бороздоделатель-щелеватель КБЩ-3. Он предназначен для нарезания щелей, однобортных и двухбортных борозд-щелей, а также для нарезки кротодрен. Агрегируется щелеватель гусеничным трактором класса 30 кН и обслуживается одним трактористом.

В конструкции известного бороздоделателя-щелереза БЩН-3У отвальные поверхности представляют собой наклонные цилиндры. Известно, что лемешно-отвальная поверхность частно-



го типа не может удовлетворить полностью требования агротехнические к орудиям подобного типа [13]. Важными элементами рабочего органа является его стойка, выполненная совместно с наральником.

С целью уменьшения склонности корпуса к залипанию и улучшению характера относительного движения почвенного пласта, целесообразно, боковой профиль стойки и наральника совмещать с линией сточки отвалов.

Учитывая сложность технологического процесса рабочих органов, обусловленную наличием закрытой борозды, целесообразно, отвальные поверхности выполнять в виде развертывающихся поверхностей общего вида, применительно к этим поверхностям предлагается аналитический способ [14] построения отвалов рабочего органа бороздоделателя-щелевателя. Способ позволяет точно выполнять необходимые построения отвальных поверхностей, но и обосновать основные ее параметры, в частности, формулу направляющей кривой, углы установки к направлению движения лемеха и крыла отвала.

**Результаты исследований.** В результате совершенствования комбинированного бороздоделателя-щелевателя было разработано модернизированное орудие на базе трактора Т-170, которое представляет собой комбинацию рабочих органов бороздоделателя, щелевателя и кротователя, что увеличивает его диапазон работы.

Опытным путем было установлено, что нарезку щелей-кротовин наиболее эффективно применять на рисовых чеках, когда на них в качестве предшествующей культуры выращивается люцерна. Так как полив люцерны в рисовых чеках также, как и риса производится в основном затоплением, то в это время значительная часть люцерны, которая не приспособлена к подобному способу полива вымокает. Это приводит к потерям урожая на 18–25 %.

В результате исследований доказана эффективность модернизированного орудия, а именно: выросла техническая производительность, увеличилась ширина захвата, повысился годовой объем работ. Сравнительный анализ агрегатов приведен в таблице.

Основные технические показатели

Показатель	Обозначение	КЩН-2-140	БЦК (МО)
		Навесной	Навесной
Тип			
Рабочая скорость, км/ч	$v_p$	5,0	5,0
Техническая производительность, га/ч	$P_t$	0,7	1,05
Транспортная скорость, км/ч	$V_{тр}$	10,7	10,7
Базовый трактор		ДТ-75	ДТ-75
Мощность двигателя, кВт	$N_{дв}$	59	59
Удельный расход топлива, кг/кВт, ч	$Q_{уд}$	0,185	0,185
Обслуживающий персонал, чел.		1	1
Число часов работы машины в году, ч	$T_r$	1600	1600
Ширина захвата, м	$B$	1,4	2,1
Масса, т	$G_m$	6,9	7,0
В том числе:			
– трактора	$G_{тр}$	6,67	6,67
– оборудования	$G_{об}$	0,23	0,33
Годовой объем работ, га	$A_r$	784	1176

Выявлено, что щелевание люцерны с одновременным нарезанием кротовин приводит к более быстрому увлажнению почвы и своевременному отводу излишков воды, что уменьшает переувлажнение. Было установлено, что при использовании модернизированного орудия бороздоделателя-щелевателя урожай люцерны повысился на 10–15 %, нежели при использовании щелевателя типа КЩН-2-140 на базе трактора Т-170.



**Заключение.** Использование математического моделирования показало, что наиболее эффективно применять щелеватели, комбинированные борозделатели-щелеватели и щелеватели-кромчателатели для обработки почв. Усовершенствование параметров рассматриваемого орудия позволило повысить его производительность, а также ряд других показателей. Это доказывает, что, модернизируя устаревшие орудия, можно экономить средства на приобретение новых. Используя модернизированное орудие, мы повышаем агресурсный потенциал сельскохозяйственных полей орошения, сохраняем их плодородие, тем самым повышая урожайность сельскохозяйственных культур.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-17-20001.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boykov V. M., Startsev S. V., Protasov A. A. Technology of the main tillage of the abandoned fields // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012132. DOI 10.1088/1755-1315/341/1/012132.
2. Абдразаков Ф. К., Есин А. И., Б Туктаров. И., Нагорный В. А. Проблемы использования орошаемых земель в Саратовской области // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2001. № 1. С. 38–43.
3. Абдразаков Ф. К., Соловьев Д. А., Горюнов Д. Г., Анисимов С. А. Экономико-энергетическая оценка эффективности технологии и технических средств для орошения мелиоративных каналов и водоемов противопожарного назначения // Аграрный научный журнал. 2014. № 9. С. 31–35.
4. Бандурин М. А., Волосухин В. А., Приходько И. А., Романова А. С. Совершенствование мероприятий улучшения гидрологического режима Кубанского водного бассейна на примере реки Шишиш // Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 9–14. DOI 10.28983/asj.y2022i11pp9-14.
5. Волосухин В. А., Бандурин М. А., Приходько И. А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природообустройство. 2022. № 4. С. 50–56. DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56.
6. Безопасность сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс с учетом изменившихся во времени нагрузок и воздействий / В. А. Волосухин [и др.] // Природообустройство. 2022. № 5. С. 52–59. DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.
7. Михайлин А. А., Бандурин М. А., Филонов С. В. К вопросу об определении параметров области разрыхления // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4-2(39). С. 13.
8. Никитенко А. В., Сухарев Д. В. Машины и оборудование природообустройства: курс лекций / Министерство сельского хозяйства РФ; ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия». Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 2013. 123 с.
9. Приходько И. А., Бандурин М. А., Волосухин В. А., Руденко А.А. Критический анализ инженерной защиты Нижней Кубани в условиях возрастающего дефицита оросительной воды из-за климатических изменений // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 4. DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332.
10. Соловьев Д. А., Кузнецов Р. И., Горюнов, Д. Г. Механизация эксплуатационных работ на оросительных каналах. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2010. 444 с. ISBN 978-5-7011-0703-6.
11. Сухарев Д. В. Обоснование технических решений совершенствования технологического процесса орошения на примере ДДА-100В : специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»: дис. ... канд. техн. наук / Сухарев Денис Владимирович. М., 2009. 131 с.
12. Чайка Е. А., Журба В. В., Семянов М. В., Бабаян Г. А. Методы обработки почвы современности и их актуальность // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник науч. трудов XXIV Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д., 2021. С. 122–124. DOI 10.23947/interagro.2021.122-124.
13. Шилер Г. Г., Коршиков А. А., В Макаров. В., Мельник Т. В. Еще раз о профилактике засух // Совершенствование рабочих органов машин, технологии и организации производства работ в АПК. Новочеркасск, 2000. С. 26–27.
14. Юрченко И. Ф. Инновационное развитие мелиорации земель на основе цифровизации и создания технологических платформ // Московский экономический журнал. 2021. № 6. DOI 10.24411/2413-046X-2021-10333.



## REFERENCES

1. Boykov V. M., Startsev S. V., Protasov A. A. Technology of the main tillage of the abandoned fields. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019*. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019: 012132. DOI 10.1088/1755-1315/341/1/012132.
2. Abdrazakov F. K., Esin A. I., Tuktarov B. I., Nagorny V. A. Problems of the use of irrigated lands in the Saratov region. *Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2001. No. 1. pp. 38–43. (In Russ.).
3. Abdrazakov F. K., Solovyov D. A., Goryunov D. G., Anisimov S. A. Economic and energy assessment of the effectiveness of technology and technical means for reclamation channels and fire-fighting reservoirs. *The Agrarian Scientific Journal*. 2014; 9: 31–35. (In Russ.).
4. Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Prikhodko I. A., Romanova A. S. Improvement of measures to improve the hydrological regime of the Kuban water basin on the example of the Pshish River. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022; 11: 9-14. DOI 10.28983/asj.y2022i11pp9-14. (In Russ.).
5. Volosukhin V. A., Bandurin M. A., Prikhodko I. A. Climate change: causes, risks for the water management complex of Krasnodar Krai. *Nature management*. 2022; 4: 50-56. DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. (In Russ.).
6. Safety of structures for engineering protection of the Psekups river valley, taking into account the loads and impacts that have changed over time / V. A. Volosukhin et al, *Nature management*. 2022; 5: 52-59. DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59. (In Russ.).
7. Mikhailin A. A., Bandurin M. A., Filonov S. V. On the question of determining the parameters of the loosening area. *Engineering Bulletin of the Don*. 2015; 4-2(39): 13. (In Russ.).
8. Nikitenko A.V., Sukharev D. V. Machines and equipment of environmental management: a course of lectures. Novocherkassk, 2013. 123 p. (In Russ.).
9. Prikhodko I. A., Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Rudenko A. A. Critical analysis of engineering protection of the Lower Kuban in conditions of increasing shortage of irrigation water due to climatic changes. *Land reclamation and hydraulic engineering*. 2022; 12; 4. DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-4-317-332. (In Russ.).
10. Solovyov D. A., Kuznetsov R. I., Goryunov D. G. Mechanization of operational work on irrigation canals. Saratov, 2010. 444 p. ISBN 978-5-7011-0703-6. (In Russ.).
11. Sukharev D. V. Justification of technical solutions for improving the technological process of irrigation on the example of DDA-100V: specialty 06.01.02 “Land reclamation, reclamation and protection of land”: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Sukharev Denis Vladimirovich. Moscow, 2009. 131 p. (In Russ.).
12. Chaika E. A., V Zhurba. V., Semyanov M. V., Babayan G. A. Methods of tillage of modernity and their relevance. *The state and prospects of development of the agro-industrial complex: A collection of scientific papers of the XXIV International Scientific and Practical Conference. Within the framework of the Agro-Industrial Forum of the South of Russia*. Rostov on Don, 2021: 122-124. DOI 10.23947/interagro.2021.122-124. Melnik. (In Russ.).
13. Shiler G. G., Korshikov A. A., Makarov V. V., T. V. Once again about the prevention of droughts. *Improving the working bodies of machines, technology and organization of work in the agro-industrial complex*. Novocherkassk, 2000: 26–27. (In Russ.).
14. Yurchenko I. F. Innovative development of land reclamation based on digitalization and creation of technological platforms. *Moscow Economic Journal*. 2021; 6. DOI 10.24411/2413-046X-2021-10333. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 1.02.2023; одобрена после рецензирования 2.03.2023; принята к публикации 13.03.2023.

The article was submitted 1.02.2023; approved after reviewing 2.03.2023; accepted for publication 13.03.2023.

