

Постановка расчёта на прочность ломаной пластинки как элемента системы деформаторов глубокорыхлителя объёмного типа

А.А. Михайлин

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Новочеркасск*

Аннотация: В данной статье рассмотрена постановка расчёта на прочность изотропной наклонной стальной пластинки конечных размеров, ломанного профиля, с жёстко закреплёнными противоположными краями, постоянного сечения, одинаковой жёсткости, как элемента системы деформаторов глубокорыхлителя объёмного типа. Показано обоснование выбранных геометрических характеристик ломаной пластинки. Представлено предварительное конечно-элементное моделирование с использованием программно - вычислительного комплекса Structure CAD (SCAD), учитывая статические и динамические нагрузки. В постановке численного расчёта, прежде всего, преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели напряжённо – деформированного состояния ломанной наклонной стальной пластинки постоянного сечения с жёстким защемлением по краям. Обработка полученных результатов моделирования свидетельствует о наличии большого запаса прочности конструкции ломаной пластинки в выбранных геометрических характеристиках.

Ключевые слова: расчёт на прочность, глубокорыхлитель, система деформаторов, напряжения, деформации, изгиб, ломаная пластинка, закреплённые края, геометрические характеристики.

На сегодняшний день существуют рыхлители почвы, включающие наклонные стойки с закреплённым на них лемехом. Но, такие рыхлители имеют незначительную ширину захвата и глубину рыхления в основном до 0,6 м. При увеличении количества стоек существенно снижается полнота рыхления, увеличивается масса орудия и возрастают тяговые сопротивления. Известны рыхлители почвы, имеющие в качестве системы деформаторов подрезающий нож и шарнирно соединённые с ним стойки, установленные с возможностью их поворота в поперечно-вертикальной плоскости и изменения угла атаки. [1-6]

Обеспечивая необходимую ширину захвата и качество рыхления, указанные устройства сложны и имеют низкую надёжность из-за наличия шарнирных соединений, работающих в почве. Кроме того, возможности рыхления почвы на большую глубину ограничены.

Существуют рыхлители с объёмной системой деформаторов. Они имеют наклонные относительно друг друга вертикальные ножевые стойки, жёстко соединённые между собой в нижней части с лемехом, выполненным V-образным с вершиной направленной вверх. При этом каждый из элементов лемеха расположен под углом $20-30^{\circ}$ к горизонтали. Такая архитектура системы деформаторов позволяет более качественно рыхлить почву на глубину более 65 см. Если увеличить ширину захвата такого глубокорыхлителя удлиняются наклонные элементы лемеха, что ведёт к потере их прочностных характеристик. Возникает необходимость проведения анализа на определения предела прочности в первом приближении: на сколько возможно удлинить элементы лемеха без потери их прочности и существенного изменения их геометрических характеристик плоского поперечного сечения. [7-12]

Представим лемех такого типа орудия с увеличенной шириной захвата как симметрично ломаную пластинку. Отсюда сформулируем задачу в первом приближении для расчёта напряжённо-деформированного состояния симметрично ломанной изотропной пластинки с защемленными противоположными краями, расположенной наклонно относительно вертикальной оси, имеющую одинаковую жёсткость и постоянное сечение по всей длине (объёмная задача). Для нашей постановки вопроса современные методы и решения в полной мере ранее не применялись. [13, 14]

Наиболее близкие исследования были проведены П.Ф. Папковичем для случая пластинки, у которой две противоположные стороны заделаны. Также известен метод решения упругости пластинок с защемлёнными краями Н.И. Мухелишвили, решая задачу эквивалентно первой основной плоской задаче теории упругости. Но в нашей постановке задача приобретает более частный случай, не исследованный ранее. [15]

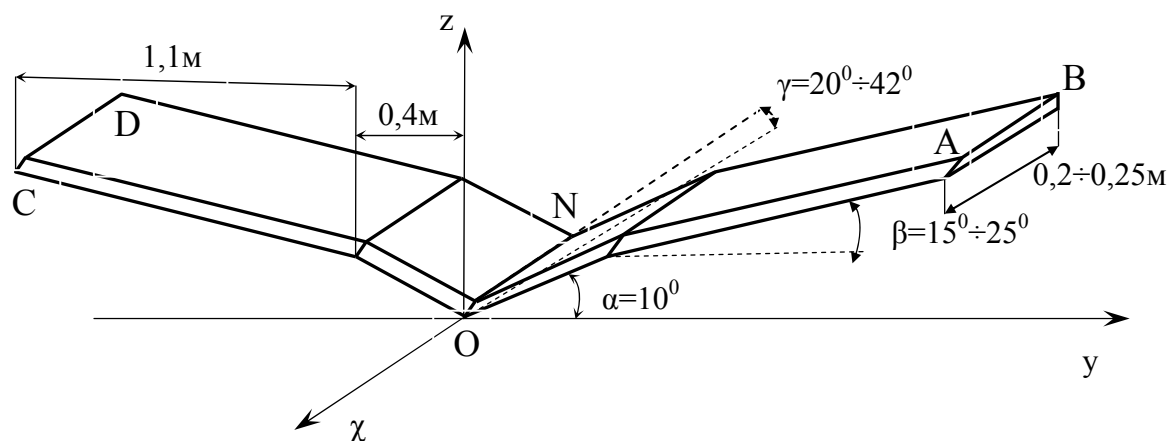


Рис. 1. – Ломанная наклонная пластинка, с защемлёнными краями АВ и CD

Для оценки критериев прочности из соотношения ширины к оптимальной толщине изотропной наклонной стальной пластинки конечных размеров, ломанного профиля, с жёстко защемленными противоположными краями, постоянного сечения, одинаковой жёсткости (рис. 1) использовали программно - вычислительный комплекс Structure CAD (SCAD). Было произведено конечно-элементное моделирование с учётом статических и динамических нагрузок. В постановке численного расчёта, прежде всего, преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели напряжённо – деформированного состояния ломанной наклонной стальной пластинки постоянного сечения с жёстким защемлением по краям. [16]

В результате проведен расчёт различных напряжённо-деформированных состояний симметрично ломанной наклонной изотропной пластинки постоянного сечения с защемленными противоположными краями постоянного сечения одинаковой жёсткости, с обоснованием её геометрических характеристик конечных размеров в зависимости от прочностных свойств при стандартных условиях её работы в упругой зоне материала.

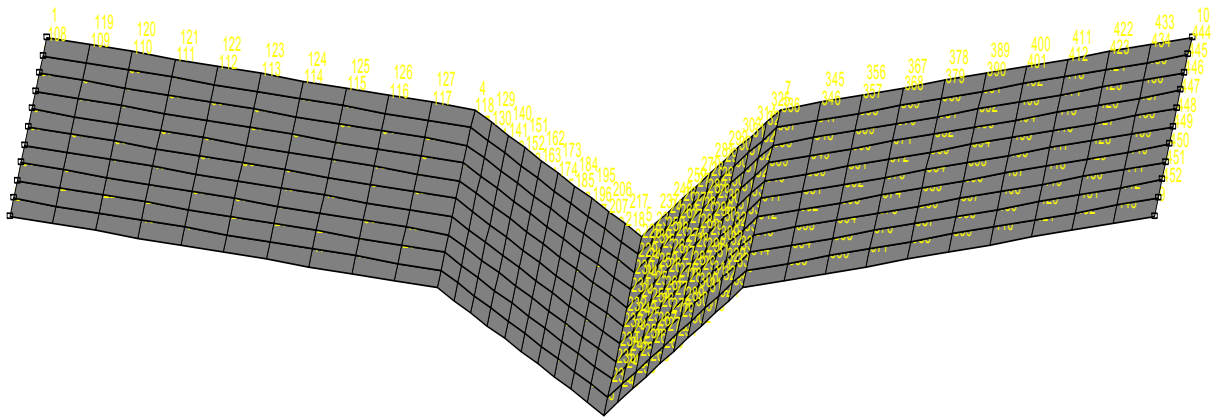


Рис. 2. – Конечно-элементная модель

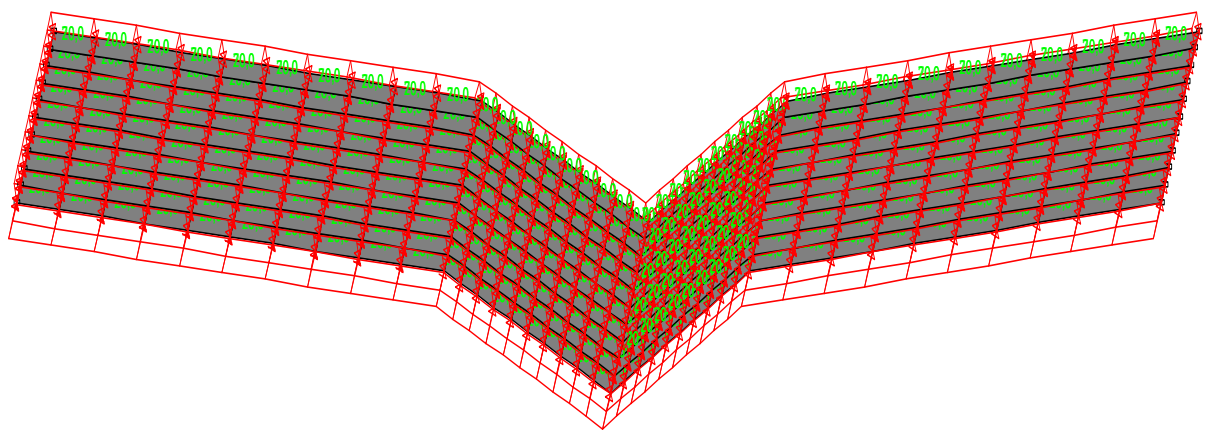


Рис. 3. – Виды различных нагружений конечно-элементной модели

Расчёт напряженно-деформированного состояния предполагал построение адекватной расчётной модели при различных эксплуатационных параметрах. Число элементов и число узлов ансамбля, соответственно, составило 419 и 329. Кодирование исходной информации осуществлялось в терминах метода приращений с учётом фрагментального представления ломаной пластины в виде объектов простой геометрической формы – пластин (рис. 2, 3).

В постановке численного расчёта симметрично ломанной изотропной пластинки с защемленными противоположными краями, расположенной наклонно относительно вертикальной оси, имеющую одинаковую жёсткость и постоянное сечение по всей длине без характерных дефектов

преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели напряжённо-деформированного состояния ломаной пластины при максимальном напоре (сопротивлении разрыхляемого пласта почвы) [4, 17, 18, 19].

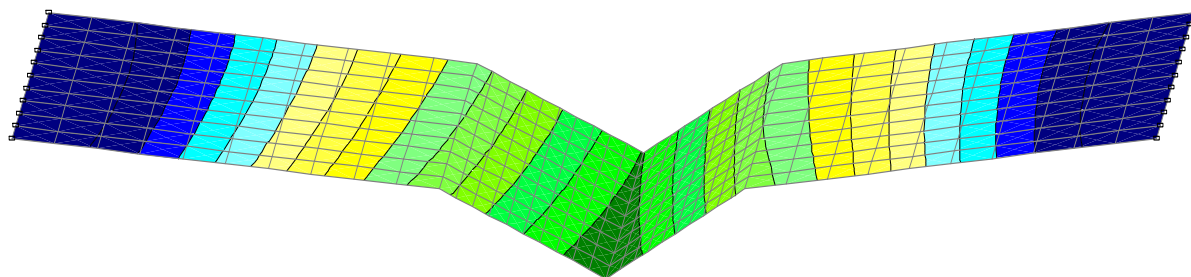
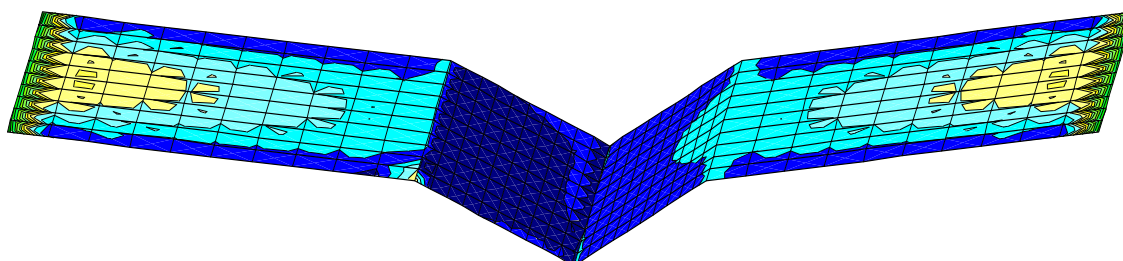


Рис. 4. – Суммарные деформации

Обработка полученных результатов моделирования показала наличие незначительных перемещений как по горизонтали (рис. 4), так и по вертикали (рис. 5) вдоль фрагмента, что свидетельствует о наличии большого запаса прочности конструкции ломаной пластинки.

Наибольшие напряжения возникают в ломаной пластине по сторонам AB и CD , так как, в основном, данный фрагмент работает как балка, жёстко закреплённая на опорах. Также возникают некоторые напряжения на «носе» - изломе пластинки, возникает картина суммарных деформаций как при кручении (рис. 4).

На эпюре суммарных деформаций (рис. 4) отображено наличие наибольших перемещений в местах образования прогиба пластинки по длине, а также сдавливание боков во внутрь.



ТХУ: Загружение 1 (Т/м2)

Рисунок 5 – Эпюра напряжений по походу движения орудия в грунте

Получены различные эмпирические зависимости:

Группа 1 - без дефектов: $GVЭ=0,000141a^2+0,0131a+3,385$; $R^2=0,97$; (1)

Группа 2 - первый пролёт с уменьшением толщины:

$$GVЭ=-0,3074a^2+38,125a-218,7; R^2=0,98; \quad (2)$$

Группа 2 - второй пролёт с уменьшением толщины:

$$GVЭ=-0,657a^2+41,565a-559,8; R^2=0,95; \quad (3)$$

Группа 2 - третий пролёт с уменьшением толщины:

$$GVЭ=-0,085a^2+16,351a-238,1; R^2=0,94; \quad (4)$$

При работе пластинки возникают наибольшие напряжения (рис. 5) на носке ломаной пластинки по линии ON и в местах заделки. В передней части, по линии AOC возникают наибольшие деформации, уменьшаясь к местам их заземления (рис. 6).

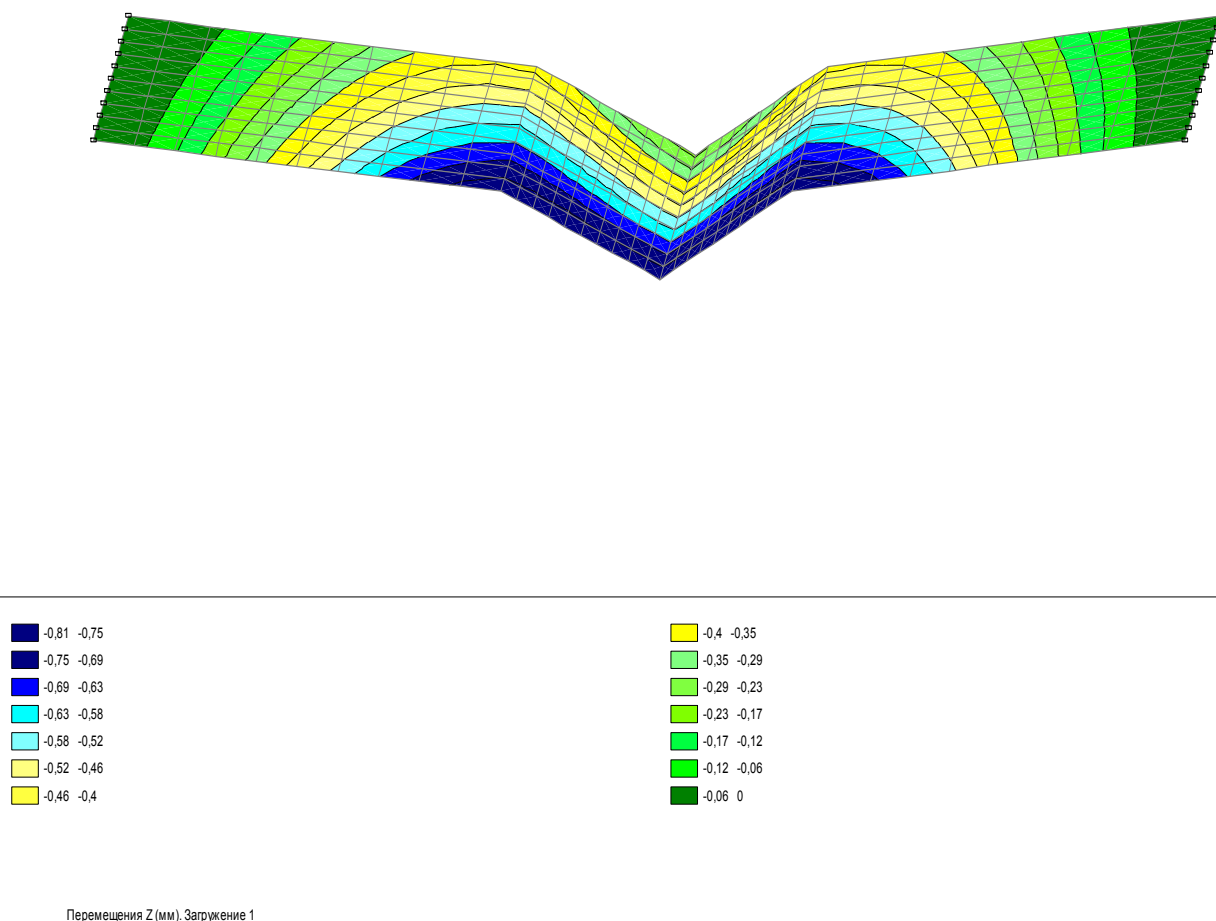


Рис. 6. – Деформации по вертикали, перпендикулярно ходу движения орудия

Проведёнными численными экспериментами были выделены зоны пластинки, которые могут содержать однотипные виды характерных повреждений, что позволяет спроектировать ломаную пластину оптимальной толщины и углами излома и наклона, обеспечивающих прочность системы деформаторов глубокорылителя, что должно получить валидацию в последующих натурных исследованиях.

Выводы:

В результате предварительного анализа рассмотрено напряженно-деформированное состояние симметрично ломанной изотропной пластинки с защемленными противоположными краями, расположенной наклонно относительно вертикальной оси, имеющую одинаковую жёсткость и постоянное сечение по всей длине, при различных сочетаниях нагрузок. Из полученных данных установлено, что наиболее опасным является снижение фактической толщины пластинки более чем на 1/3 от проектной, которое ведёт к выходу из строя отдельного фрагмента детали. При незначительных потерях толщины на эпюрах перемещений характерно отражаются допустимые значения.

Литература

1. Михайлин, А.А., Максимов В.П., Клименко И.В. Влияние технических характеристик орудия на показатели качества глубокого разрыхления орошаемых земель. – «Научный журнал российского НИИ проблем мелиорации». 2013. № 3 (11). с. 134-147.
2. Михайлин, А.А., Бандурин М.А., Филонов С.В. К вопросу об определении параметров области разрыхления // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4-2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3444.
3. Кулен, А. Современная земледельческая механика. / А. Кулен, Х. Куйперс Перевод с англ. А.Э. Габриэлян. Под ред. с предисл. Ю.А. Смирнова. – М.: Агропромиздат. – 1986. - 349 с.
4. Зеленин, А.Н. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов / М.: Машиностроение. – 1975. - 424 с.

5. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy / De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G. [and other] // Soil & Tillage Research. – 2007. – No. 92 (1-2). – pp. 69-78.

6. Smith L.A. Williford Power Requirements of Conventional, Triplex and Parabolic Subsoilers // Transactions on the ASAE. – 1988. – No. 6. pp. 1686-1688.

7. Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain yield and quality / Amato G., Ruisi P., Frenna A.S. [and other] // Agronomy Journal. – 2013. – No. 105 (5). – pp. 1317-1327.

8. Доценко, А.Е. Оптимизация конструктивных и технологических параметров отвально-чизельного рабочего органа. 9 международная конференция «Развитие науки в 21 веке» 1 часть / А.Е. Доценко, И.Б. Борисенко. – НИЦ «Знание». Харьков 2015. с. 82-88.

9. Борисенко, И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы острозасушливых условиях Нижнего Поволжья. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. / И.Б. Борисенко. – Волгоград 2006. с. 173-200.

10. Борисенко, И.Б. Агротехнологические подходы при проектировании рабочих органов для основной глубокой обработки почвы / И. Б. Борисенко, А. Е. Доценко. – Поиск инновационных путей, 14 мая 2014 г. — Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2014. с. 123-130.

11. Михайлин, А.А. Анализ устойчивости обрабатываемых влагонасыщенных склоновых почв// Инженерный вестник Дона, 2012 №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1182.

12. Михайлин, А.А. Разработка новой ресурсосберегающей технологии обработки склоновых земель // Инженерный вестник Дона, 2013 № 1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1525.

13. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М., Физматгиз, 1963. с. 14-60.

14. Даревский В.М., Шаринов И.Л. Новое решение задачи об изгибе защемленной по краям прямоугольной пластинки, – В сб. Успехи механики деформируемых сред, М., Наука, 1975. с. 183– 194.

15. Лычев С.А., Салеев С.В. Замкнутое решение задачи об изгибе жестко закрепленной прямоугольной пластины,– Вестн. Самар.гос. ун-та, 2006, № 2, с. 62–73.

16. Халилов С.А., Минтюк В.Б., Ткаченко Д.А. Построение и исследование аналитико-численного решения задачи об изгибе жестко защемленной прямоугольной пластины.– Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, №49, 2011, с. 81–94.

17. Бандурин М.А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений// Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1200

18. Бандурин М.А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений// Инженерный вестник Дона, 2012. № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/891.

19. Бандурин М.А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений// Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 1 (09). с. 68-79.

References

1. Mikhaylin, A.A. Maksimov V.P., Klimenko I.V. Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Rus). 2013. № 3 (11). pp. 134-147.

2. Mikhaylin A.A., Bandurin M.A., Filonov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2015. №4 (part 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3444.

3. Kulen, A. Sovremennaja zemledel'cheskaja mehanika. A. Kulen, X. Kujpers Perevod s angl. A.Je. Gabrijeljan. Pod red. s predisl. Ju.A. Smirnova. M.: Agropromizdat. 1986. pp. 349.

4. Zelenin, A.N. Mashiny dlja zemljanyh rabot. Uchebnoe posobie dlja vuzov [Machines for earthworks. Textbook for university]. A.N.Zelenin i dr. M.: Mashinostroenie. 1975. pp. 424.

5. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G. [and other]. Soil & Tillage Research. 2007. No. 92 (1.2). pp. 69-78.

6. Smith L.A. Williford Power Requirements of Convention, Triplex and Para-bolic Subsoilers. Transactions on the ASAE. 1988. No. 6. p. 1686-1688. Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain field and quality. Amato G., Ruisi P., Frenda A.S. [and other]. Agronomy Journal. 2013. No. 105 (5). pp. 1686-1688.

7. Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain field and quality. Amato G., Ruisi P., Frenda A.S. [and other]. Agronomy Journal. 2013. No. 105 (5). pp. 1317-1327.

8. Docenko, A.E., Borisenko I.B. Optimizacija konstruktivnyh i tehnologicheskikh parametrov otval'no-chizel'nogo rabocheho organa. 9 mezhdunarodnaja konferencija «Razvitie nauki v 21 veke» 1 chast'. NIC «Znanie». Har'kov 2015. pp.82-88

9. Borisenko, I.B. Sovershenstvovanie resursosberegajushhih i pochvozashhitnyh tehnologij i tehniceskikh sredstv obrabotki pochvy ostrozasushlivyh uslovijah Nizhnego Povolzh'ja. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni d.t.n. [Improving conservation technologies and technical means of soil

treatment, high-draught conditions in the Lower Volga region. Dissertation for the degree of doctor of technical Sciences]. Volgograd 2006. pp. 173-200.

10. Docenko, A.E., Borisenko I.B. Agrotehnologicheskie podhody pri proektirovanii rabochih organov dlja osnovnoj glubokoj obrabotki pochvy. Poisk innovacionnyh putej, 14 maja 2014 g. Volgograd: FGBOU VPO Volgogradskij GAU, 2014. pp. 123-130.

11. Mikhaylin, A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1182.

12. Mikhaylin, A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1525.

13. Timoshenko S.P., Vojnovskij.Krigger S. Plastinki i obolochki. [Of plates and shells]. M., Fizmatgiz, 1963. pp. 14-60.

14. Darevskij V.M., Sharinov I.L. Novoe reshenie zadachi ob izgibe zashhemlennoj po krajam prjamougol'noj plastinki, V sb. Uspehi mehaniki deformiruemyh sred, M., Nauka, 1975. pp. 183-194.

15. Lychev S.A., Saleev S.V. Vestn. Samar.gos. un.ta, 2006, № 2, pp. 62-73.

16. Halilov S.A., Mintjuk V.B., Tkachenko D.A. Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tehnologii, №49, 2011, pp. 81-94.

17. Bandurin M.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1200

18. Bandurin M.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/891.

19. Bandurin M.A. Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Rus) 2013. № 1 (09). pp. 68-79.