

И.С. ЧЕРНЯВСКИЙ, к.т.н., начальник КБ ОАО "Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе";
А.В. УСТИНЕНКО, к.т.н., доц., старший научный сотрудник каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ"

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ НА ХАРЬКОВСКОМ ТРАКТОРНОМ ЗАВОДЕ ПРИ ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕСУРСА СЕМЕЙСТВА ТРАКТОРОВ Т-150

Проанализированы конструкторские разработки, теоретические и экспериментальные исследования, которые были выполнены на Харьковском тракторном заводе при решении проблемы создания тракторных трансмиссий с долговечностью 10 тысяч часов вместо 6 тысяч без изменения весовых и габаритных размеров агрегатов с одновременным увеличением тяговой мощности двигателя. Показана экономическая эффективность внедрения предложенных изменений.

Ключевые слова: трактор, трансмиссия, ресурс.

Введение. Актуальность проблемы. В течение многих лет перед Харьковским тракторным заводом (ХТЗ) стояла актуальная научно-практическая проблема – создание тракторных трансмиссий с долговечностью 10 тысяч часов вместо 6 тысяч без изменения весовых и габаритных размеров агрегатов с одновременным увеличением тяговой мощности двигателя. В связи с этим вспомним три высказывания [1].

1. "Разработать, изобрести – это только первый этап работы, пожалуй, более легкий. Второй этап – внедрение научного достижения в народное хозяйство самый трудный. Внедрение – это черная работа, но без нее первый этап не имеет смысла". Академик Б.Е. Патон.

2. "Первым и самым важным показателем следует признать показатели надёжности и износостойкости. Только при наличии у трактора приемлемых значений надёжности и износостойкости можно говорить об уровне всех других параметров и показателей трактора". Ан. Болтинский.

3. "Толковость не заменяет ни конкретных знаний, ни опыта". Я.Е. Айзенберг – создатель систем управления ракетами (Хартрон).

2013г. – юбилей серийного производства семейства тракторов Т-150 (колёсный Т-150К с 1973г., гусеничный Т-150 с 1983г.). С какими же результатами пришел ХТЗ к этому юбилею?

1. В эксплуатации сотни тысяч тракторов Т-150К и Т-150: в Украине, в России и ряде зарубежных стран.

2. Срок службы модернизированных тракторов увеличен с 10 до 18 лет. В коллективных хозяйствах – 18 лет, арендных – 22 года, фермерских – 36 лет [2].

3. В 2013 году крупные партии Т-150К и Т-150 поставлены на Кубу.

4. Всего выпущено тракторов типа Т-150 с 1970 по 1996 год:

- Т-150К – 603355, в том числе на экспорт – 21863;
- Т-150 – 95050.

Пути решения проблемы. Для переоснащения сельского хозяйства высокоэффективной энергонасыщенной техникой ПО "Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе" и НПО НАТИ впервые в отечественном тракторостроении создали трансмиссии для семейства тракторов типа Т-150 с переключением передач под нагрузкой без остановки трактора, в то время как традиционное переключение передач на выпускаемых отраслью тракторах происходило с обязательной их остановкой. Такое переключение передач обеспечено с помо-

© И.С. Чернявский, А.В. Устиненко, 2014

щью оригинальных механизмов безразрывного переключения передач, защищённых как авторскими свидетельствами в СССР, так и патентованием за рубежом (США, Англия, Франция, Япония и др.), т.е. обладающих мировой новизной.

Трансмиссиями с безразрывным переключением передач, которые включают в себя унифицированные муфты главного сцепления коробки передач, карданные передачи, унифицированные главные и конечные передачи, оснащено семейство тракторов Т-150 тягового класса 3т.с., включающее: Т-150 – гусеничный, Т-150К – колёсный; Т-155 – тягач; Т-150К-26 – погрузчик; Т-150К-27 – лесохозяйственный; Т-150К-28 – промышленный.

Опыт широкой эксплуатации тракторов Т-150 в стране и за рубежом показал, что часто сопротивление штатного шлейфа сельскохозяйственных машин и орудий по ряду причин значительно превышает тяговый класс трактора. Предусмотренные инструкцией по эксплуатации ограничения по тяговым усилиям, которые установлены для всех выпускаемых тракторов, не соблюдаются, что приводит к перегрузкам и преждевременным разрушениям дорогостоящих агрегатов трансмиссии.

Одновременно заказчиком предъявлены дополнительные требования к трактору: расширение диапазона рабочих скоростей для выполнения работ с 5-6 корпусными плугами; обеспечение выполнения энергоёмких работ на скоростях 4-5км/ч; возможность работы на трамбовке силоса; повышение ресурса до 8000-10000 моточасов. Для исключения преждевременного выхода из строя трансмиссии из-за превышения регламентированных нагрузок, реализации дополнительных агротехнических требований и повышения долговечности узлов необходимо усилить ряд элементов трансмиссий, снять имевшиеся ограничения по тяговому усилию и в то же время обеспечить повышение требования к ресурсу.

Выполнение перечисленных требований обусловило необходимость глубокой модернизации трансмиссий семейства тракторов и, в первую очередь, коробок передач. Учитывая массовый характер производства, необходимо было при этом сохранить максимальную преемственность агрегатов как по конструкции, так и по технологии, а также обеспечить максимальную унификацию трансмиссий внутри семейства тракторов [3].

В основу проведённых ПО ХТЗ и НПО НАТИ исследований положены новые методы расчёта силовых элементов трансмиссий, учитывающие особенности реального эксплуатационного нагружения [4].

Теоретический комплекс включал:

- разработку динамических моделей, отличительной особенностью которых является приведение сложных многомассовых динамических систем к системам, позволяющим оценить эффективность изменений элементов трансмиссии;

- оценку динамических нагрузок как внешних (от двигателя и ведущих колёс), так и внутренних (от карданных валов, зубчатых передач и др.) при установившихся и переходных режимах;

- оценку потерь мощности в каждом из агрегатов трансмиссии;

- количественную оценку ожидаемого ресурса в статистическом аспекте с учётом эксплуатационной нагруженности и использования агрегатов трансмиссий за срок службы тракторов.

В результате выполненного комплекса исследований установлено следующее: наличие локальных резонансов на различных участках трансмиссии; величины нагрузок в зонах резонансов в 4 раза превышают номинальные; величины нагрузок при установившемся режиме в 1,5...2 раза превышает номинальные; величины нагрузок при переходных режимах в 3...4 раза превышают номинальные. Рекомендовано при расчёте зубчатых передач принимать коэффициенты приведения переменных нагрузок 1,3...1,4; при расчёте подшипниковых опор –

1,1...1,2; величины допускаемых напряжений и запасов прочности в установленном режиме: для шестерен допускаемые напряжения изгиба – $\sigma_{FP} \leq 300 \text{ МПа}$, для валов запас по пределу выносливости – $n_{-1} = 1,5$; для подшипников отношение динамической грузоподъёмности C к эквивалентной нагрузке P – $C/P > 3$.

Для экспериментальных исследований создан ряд принципиально новых универсальных стендов для динамических, прочностных и ресурсных испытаний всех агрегатов трансмиссии.

Теоретический и экспериментальный комплекс разработок позволил провести на научной основе глубокую модернизацию трансмиссий семейства тракторов в два этапа:

1) Отстройка трансмиссий от резонансов и снижение амплитуд крутильных колебаний.

2) Снятие ограничений по тяговому усилию.

Для отстройки трансмиссий от резонансов и снижения динамических нагрузок выбраны оптимальные жесткостные и демпфирующие параметры, реализованные в конструкциях узлов путём:

- установки пружинно-фрикционного демпфера с жесткостью $C = 1,5 \times 10^5 \text{ кг-см/рад}$ в узле муфты сцепления;
- введения стержневого карданного вала вместо трубчатого с одновременным разворотом вилок карданных передач (гусеничные модификации);
- установки полуосей ведущих мостов пониженной жесткости.

Отличительной особенностью КП тракторов гусеничной модификации является раздельный привод на правый и левый борта за счёт введения двух вторичных валов КП.

При модернизации коробок передач реализовано следующее:

- изменена кинематическая схема передачи крутящего момента на первом, втором и заднего хода диапазонах;
- в шестернях гидромуфт установлены шарикоподшипники большей грузоподъёмности;
- увеличен модуль пары шестерен второго диапазона (колесные модификации);
- усилены опоры валов за счет применения подшипников повышенной грузоподъёмности;
- в одинарной гидropоджимной муфте первой передачи увеличено число фрикционных дисков (гусеничные модификации);
- установлены уплотнительные кольца повышенной долговечности в маслораспределительном узле;
- оптимизированы зазоры в подшипниках скольжения;
- введена продольная модификация (бочкообразная форма) зубьев шестерен КП и раздаточной коробки;
- введено алмазное хонингование зубьев шестерен;
- внедрена улучшенная термообработка шестерен для стабильного получения нитроцементационного слоя на зубьях и посадочных поверхностях.

На тракторах семейства установлены пространственные унифицированные карданные передачи, у которых валы в вертикальной плоскости расположены по *И*-образной схеме, а в горизонтальной – по *Z*-образной схеме. В результате проведенного теоретического комплекса исследований (первый этап модернизации) выбраны параметры и конструктивные изменения карданных передач: для гусеничных модификаций – стержневые карданные валы Ø40мм с разворотом вилок для левого кардана на 82° против, а для правого – на 105-115° по часовой стрелке; для колёсных модификаций – карданная передача с промежуточным валом на

двух разгруженных опорах и двух двойных вилок, развёрнутых на 90°.

На втором этапе модернизации разработаны, исследованы и внедрены:

- карданный шарнир с накатанными шейками крестовины из стали 20ХГНР;
- игольчатые подшипники повышенной точности со фторокаучуковыми манжетами и смазкой №158 крестовин кардана;
- усиленные болты М10 с мелкой резьбой и применением анаэробного клея Унигерм для крепления опорных пластин шарнира;
- двойные вилки карданов повышенной жёсткости.

На тракторы установлены унифицированные главные передачи ведущих мостов: одинарные, конические с круговыми зубьями. Для обеспечения ресурса главных передач усилен резьбовой хвостовик ведущей шестерни; в подшипниковых узлах ведущей и ведомой шестерен применены конические подшипники повышенной грузоподъёмности.

Унифицированные конечные передачи планетарного типа выполнены по схеме 2К-Н (по классификации Кудрявцева) с тремя однозвеновыми сателлитами и "плавающим" солнцем, установленным на шлицах полуоси. На первом этапе модернизации оптимизированы параметры полуосей путем изменения диаметра с Ø49 до Ø45мм и повышения твердости до *HRC* 40...47. На втором этапе модернизации для них разработаны, исследованы и реализованы в производстве следующие мероприятия:

- увеличено тело сателлита за счёт изменения подшипникового узла и введения шлифовки торцов до термообработки;
- введена продольная модификация (бочкообразная форма) зубьев солнечной шестерни и улучшена термическая обработка;
- увеличено тело обода эпициклической шестерни, введено никотрирование зубчатого венца и обеспечена стабилизация параметров профиля зуба;
- для стабильности взаимного положения силовых элементов редуктора и надёжной герметичности внедрены сварные водила.

Модернизированные агрегаты трансмиссии прошли испытания на машиноиспытательных станциях Госагропрома и рекомендованы к производству. Внедрение модернизированных агрегатов позволило:

- снять ограничения по тяговому усилию;
- расширить диапазон рабочих скоростей за счёт использования передач первого и заднего хода на всех диапазонах;
- существенно повысить производительность тракторного агрегата при выполнении энергоёмких работ (особенно тяжёлой пахоты), поскольку разрешённое тяговое усилие 48000Н на первой передаче второго диапазона не обеспечило стабильной работы трактора (требовалось либо снять 1-2 корпуса плуга, либо перейти на первый диапазон и, как следствие, перегрузить трансмиссию);
- увеличить ресурс с 6000 до 8000...10000 часов;
- произвести дальнейшую унификацию;
- сократить нормы расхода запасных частей.

Одновременно проведены теоретические и экспериментальные работы по совершенствованию подвесок и креплений агрегатов трансмиссии, что позволило уменьшить внешние воздействия на них. Усовершенствованные узлы подвески внедрены в производство.

Результаты всего комплекса работ по унификации семейства тракторов типа Т-150 приведены в таблице.

Внедрение модернизированных трансмиссий снизило затраты в

Таблица – унификация семейства тракторов типа Т-150

Трактор	Всего деталей	Оригинальных деталей
Т-150	2741/9435	581/1813
Т-150К	2485/7575	35/49
Т-157	2251/6786	44/101
Т-158	2276/7231	5/8
Т-155	2694/8106	251/461

Примечание: в числителе – количество наименований деталей, в знаменателе – количество деталей в штуках

производстве на один трактор Т-150К на 18,76руб., на один трактор Т-150 на 56,18руб.; одновременно снижены нормы расхода проката соответственно на 7,8 и 31кг. Экономический эффект в производстве составил 9,3 млн.руб., 4850т проката.

Достигнуто снижение удельной металлоёмкости трансмиссий тракторов семейства Т-150 в 1,5...2 раза по сравнению с тракторами-аналогами.

Общий экономический эффект от внедрения модернизированных трансмиссий семейства тракторов Т-150 составил более 100млн.руб., 50000т проката.

Новизна внедрённых разработок по конструкции трансмиссии, методам и стендам для ускоренных испытаний защищена 35 авторскими свидетельствами. По разработкам и исследованиям опубликовано более 100 печатных работ [5].

В теоретические, экспериментальные и конструкторские разработки большой вклад внесён НПО НАТИ и Госагропромом, что явилось основанием для включения в состав авторского коллектива представителей указанных организаций, чей творческий вклад является наиболее весомым.

Комплексная работа по созданию и освоению производства трансмиссий со сниженной металлоёмкостью семейства тракторов типа Т-150 была рассмотрена на заседании секции тракторов НТС Министерства в 1990г, докладчик от ХТЗ И.С. Чернявский. Базовым тракторам присвоен Государственный знак качества. Межведомственная комиссия в феврале 1990г. подтвердила их аттестацию по высшей категории качества.

Своеобразным итогом советского периода создания и внедрения энергонасыщенных тракторов можно считать состоявшееся в мае 2001г. объединённое заседание НТС НАТИ и секции "Тракторы" НТС ОАО "АСМ-холдинг". На нем был заслушан доклад И.С. Чернявского "Результаты исследований трансмиссий серийных и опытных моделей тракторов и их реализация в серийном производстве".

В заключительном слове И.С. Чернявский отметил, что такие обсуждения и обмен опытом работы по важнейшим направлениям тракторостроения необходимы как научно-исследовательским, так и конструкторским организациям, особенно в настоящее время, когда объёмы работ, проводимых ими, значительно сократились и не охватывают всей номенклатуры вопросов, представляющих творческий интерес и имеющих практическую пользу при создании и модернизации тракторной техники с целью повышения её технического уровня и конкурентоспособности.

В ходе обсуждения доложенных материалов, НТС НАТИ и Секция "Тракторы" НТС ОАО "АСМ-холдинг" отметили, что конструкторской организацией Харьковского тракторного завода за прошедшие десятилетия деятельности накоплен богатейший опыт создания колесных и гусеничных тракторов, в том числе и по их трансмиссиям. Доложенные материалы базируются на результатах обобщения и анализа результатов многочисленных стендовых и полевых испытаний, а также длительной эксплуатации тракторов ДТ-54 и ДТ-20, Т-74, Т-150 и Т-150К. В народное хозяйство СССР и стран, образовавшихся на его базе, поставлены сотни тысяч тракторов ХТЗ. Они работали и работают во многих странах Дальнего зарубежья, и не только в сельскохозяйственном производстве, но и в полных лесохозяйственных, дорожно-строительных и транспортных работы.

Их эффективность обусловлена высокой степенью отработанности, хорошей надёжностью, простотой в эксплуатации и обслуживании.

В последние годы в ОАО ХТЗ разработаны модели колесных и гусеничных тракторов повышенной энергонасыщенности: ХТЗ-100, ХТЗ-153, ХТЗ-160, ХТЗ-170, ХТЗ-200. Их отработка также сопровождается ускоренными стендовыми испытаниями основных узлов и агрегатов, а также полевыми испытаниями и подконтрольной эксплуатацией опытных партий тракторов.

С учётом изложенного, объединённое заседание НТС НАТИ и Секции "Тракторы" НТС ОАО "АСМ-холдинг" постановило:

1. Одобрить научно-исследовательскую и проектно-конструкторскую работу по созданию и отработке трансмиссий опытных и серийных тракторов, доложенную начальником КБ расчётов и исследований ОГК ХТЗ, к.т.н. Чернявским И.С.

2. Отметить комплексный научный подход в проведении теоретических и экспериментальных исследований силовых передач в ОГК ХТЗ и масштабность их внедрения в серийное производство тракторов, выпускаемых заводом, а также активное использование для решения отдельных наиболее сложных вопросов возможностей научно-исследовательских организаций тракторостроения.

3. Рекомендовать конструкторским организациям тракторостроения Украины, России, и других стран СНГ использовать опыт и разработки ОГК ХТЗ по силовым передачам колесных и гусеничных тракторов.

Заключение. В наше время исследования, связанные с повышением энергонасыщенности тракторов, вышли на качественно новый уровень с привлечением последних достижений в области расчетов и проектирования зубчатых передач и трансмиссий [6-8]. Необходимость их применения связаны, например, с изучением возможности установки на самый распространенный в Украине трактор Т-150К двигателей мощностью 200...250л.с., внедрением в производство модификаций трактора с увеличенной скоростью движения на транспортном диапазоне. При этом реалии отечественного тракторного производства накладывают жесткие ограничения на конструктивную переработку агрегатов трактора, в том числе и трансмиссии, так как любая модернизация повлечет существенное увеличение затрат на подготовку производства [8]. Следовательно, лишь применение современных подходов позволит найти те резервы нагрузочной способности и долговечности, которые еще есть в безусловно удачной конструкции трансмиссии, которая "интегрировала" в себя многолетний опыт бюро расчетов и исследований ОАО "ХТЗ".

Также в заключение отметим, что приведенные в статье материалы будут полезны для изучения студентам, обучающимся по машиностроительным специальностям, а также специалистам, занимающимся созданием различной продукции машиностроения, с целью распространения уникального опыта бюро расчетов и исследований ОАО "ХТЗ" по созданию продукции с высоким уровнем унификации и экономической эффективности.

Список литературы: 1. *Библия В.В.* Харьковский тракторный завод имени С.Орджоникидзе (Страницы истории). – Харьков: Основа, 2008. – 182с. 2. *Халфин М.А., Хисметов Н.З.* О сроках службы машин // Тракторы и сельхозмашины. – 2003. – №12. – С.25-29. 3. *Тодоров П.П., Библия В.В., Гудзь С.П., Абдула С.Л., Чернявский И.С.* Разработка и освоение производства унифицированных трансмиссий тракторов ХТЗ // Научно-технический и гражданский журнал Президиума Академии инженерных наук Украины. – 2001. – №2. – С.11-18. 4. *Чернявский И.С.* Эффективность работы КБ расчетов и научных исследований на Харьковском тракторном заводе // Тракторы и сельхозмашины. – 2002. – №1. – С.16-20. 5. *Кашуба С.А., Жуликов В.П.* Сын эпохи. К 100 летию юбилею генерального конструктора ХТЗ Кашубы Б.П. – Харьков: Городская типография, 2012. – 54с. 6. *Кириченко А.Ф., Устиненко А.В., Танасевский В.В.* Совершенствование стандартных прочностных расчетов зубчатых передач на основе моделирования усталостных процессов // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. научн. трудов. Тем. вып. "Проблемы механического привода". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. – Вып.22. – С.110-114. 7. *Чернявский И.С., Устиненко А.В.* Оценка напряженности и долговечности зубчатых передач трансмиссии трактора Т-150К // Вісник СевНТУ: 36. наукових праць. – Вип. 133/2012. Сер.: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2012. – С.44-48. 8. *Чернявский И.С., Устиненко А.В., Бондаренко А.В.* Анализ резервов повышения нагрузочной способности зубчатых передач трансмиссии трактора Т-150К // Вісник СевНТУ: 36. наукових праць. – Вип. 139/2013. Сер.: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2013. – С.298-302.

Поступила (received) 31.01.2014