

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

В. Б. Попов

ВВЕДЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 12 01 «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2011

УДК 658.512.23:631.3(075.8)
ББК 40.72я73
П58

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 22.03.2011 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *О. Г. Широков*

Попов, В. Б.

П58

Введение в инженерное образование : курс лекций по одной дисциплине для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. формы обучения / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 89 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-004-1.

Представлены общие сведения о современной сельскохозяйственной технике и развитии уборочных машин. Рассмотрена методика поиска, анализа и синтеза инженерных решений, составляющих жизненный цикл машиностроительного изделия, роль автоматизации как в процессе проектирования, так и в составе уборочных машин.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной формы обучения.

УДК 658.512.23:631.3(075.8)
ББК 40.72я73

ISBN 978-985-535-004-1

© Попов В. Б., 2011
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

ТЕМА 1. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЗАДАЧИ АГРОИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ

Экономия материально-энергетических ресурсов – глобальная проблема XXI в. В сфере механизации сельского хозяйства это требует неотложного реагирования агроинженерной науки и практики. Необходимо искать приоритетные направления разработок, осваивать ресурсосберегающие технологии, создавать и использовать в агропромышленном комплексе новые конкурентоспособные машины с высокими техническими характеристиками.

Основой повышения эффективности сельскохозяйственного производства республики должно стать техническое перевооружение отрасли с целью снижения энерго- и ресурсоемкости продукции к 2010 г. в 1,2–1,3 раза, обеспечения комплексной механизации технологических процессов и высвобождения работающих в сельском хозяйстве (около 60 %) от тяжелого ручного труда, негативно влияющего на качество жизни и здоровье сельского населения.

Задача агроинженерной науки и машиностроительных предприятий республики на ближайшие годы – обеспечить по энергоемкости технологических операций в сельском хозяйстве выход на уровень, соответствующий лучшим мировым образцам: расход топлива на основной обработке почвы и посеве не должен превышать $12 \div 14$ кг/га, на уборке зерновых – $2,8 \div 3,0$ кг/т, на сушке зерна – $6,0 \div 6,5$ кг/т, при заготовке кормов из трав – $5 \div 6$ кг/т. В целом необходимо обеспечить снижение расхода топлива на 25–30%, чтобы в себестоимости продукции затраты на энергоресурсы не превышали 8–12 %.

Для решения этой задачи необходимо совместно с технологическими институтами сосредоточить усилия на следующих направлениях:

– провести фундаментальные исследования закономерностей взаимодействия рабочих органов машин со средами и материалами, математическое моделирование и оптимизацию процессов функционирования сельскохозяйственных машин, агрегатов, технологических комплексов и энергетических систем в растениеводстве и животноводстве, как основу создания новых технических средств;

– выполнить прикладные исследования технологических процессов почвообработки, химизации сельского хозяйства, уборки сельскохозяйственных культур, с целью обоснования минимальных негативных воздействий технических средств на биоценоз; уменьшения

потерь при уборке и повреждениях клубней, плодов, ягод, овощей и другой продукции растениеводства, что сократит на 10–15% отходы при хранении и переработке; обеспечения экологической безопасности населения;

– научно обосновать новые технологические процессы заготовки кормов и механизации животноводства, обеспечивающие получение животноводческой продукции с меньшими (на 15–20%) удельными затратами энергии за счет расширенного использования возобновляемых источников энергии, а также естественного холода при ее хранении и переработке;

– на основе фундаментальных разработок институтов физико-технического профиля Национальной академии наук Беларуси выполнить комплекс исследований по повышению надежности и долговечности сельскохозяйственной техники, качества и стабильности выполнения технологических процессов, что обеспечит ее конкурентоспособность.

Для ускорения научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе Правительством Беларуси утверждена Республиканская программа создания сельскохозяйственной техники и оборудования для производства и переработки сельскохозяйственной продукции на 2002–2005 гг. Предусмотрено разработать 117 образцов сельскохозяйственных машин и оборудования и освоить производство 105 наименований новой техники.

Цель новой программы:

– внедрить в сельскохозяйственное производство новые ресурсосберегающие технологии возделывания растений и содержания животных, снижающие удельные затраты топлива, труда, металла на 20–25%;

– максимально удовлетворить потребности внутреннего рынка в машинах и оборудовании за счет возможностей республиканского машиностроения;

– оптимизировать номенклатуру выпускаемых средств механизации, концентрировать их производство путем специализации организаций-изготовителей;

– повысить качество и конкурентоспособность отечественных машин и оборудования, обеспечить замещение импортируемых, выход на внешний рынок;

– максимально использовать для создания новых средств механизации отечественный научно-технический потенциал с учетом передового зарубежного опыта.

Создание сельскохозяйственной техники и оборудования для производства и переработки сельскохозяйственной продукции должно базироваться на следующих концептуальных принципах:

– системный подход к разработке и производству техники и оборудования, что обеспечит возможность полнокомплектной поставки технических средств для интенсивных технологий;

– сбалансированность создания и освоения производства машин и оборудования, исходя из реальных финансовых возможностей, потенциала научно-исследовательских и конструкторских организаций, заводов-изготовителей сельскохозяйственной техники;

– максимальная эффективность в сфере производства и использования техники;

– рациональное ограничение номенклатуры технических средств, сокращение металло- и энергоемкости путем создания оптимальных типоразмерных рядов, агрегатной унификации и универсализации машин;

– автоматизация и компьютеризация технологических процессов, в первую очередь стационарных установок.

Это позволит стабилизировать технический потенциал агропромышленного комплекса страны и создать предпосылки для его развития в дальнейшем, обеспечит условия для более широкого применения прогрессивных машинных технологий и увеличения на этой основе производства всех видов сельскохозяйственной продукции.

При полном выполнении Республиканской программы ожидаемая годовая экономия по республике составит: автотракторного топлива – 79,6 тыс. т, котельно-печного топлива – 32,3 тыс. т условного топлива, металла – 24,4 тыс. т, электроэнергии – 341 млн кВт · ч, труда – 12,2 млн чел.-ч, в денежном выражении – 210,1 млрд р.

Применение энергосберегающих технологий и технических средств позволит снизить энергоемкость производства сельскохозяйственной продукции в 1,2–1,3 раза. Затраты на разработку и освоение машин и оборудования с учетом реальных объемов их производства окупятся за 2–3 года.

ТЕМА 2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ: ОТ СОХИ К ПЛУГУ, ОТ СЕРПА К КОМБАЙНУ

2.1. Освоение примитивных образцов сельскохозяйственной техники

Пашенное (пахотное) земледелие, при котором для обработки земли использовались упряжные орудия, появилось в Европе в 4–3-м тысячелетиях до н. э. Эффективность бороздовых палок можно было увеличить в несколько раз, используя силу животных. Так перешли от бороздового орудия к пашенному – прикрепили дышло, которое, в свою очередь, крепилось к упряжи. Орудия состояли из двух основных деталей: дугообразной бороздильной части и вставленного в нее с вогнутой стороны прямого дышла. Нижний конец бороздильной части выполнял рабочую функцию лемеха, а верхний являлся рукояткой. Тысячи лет разнообразные рала служили основным орудием почвообработки. Они были симметричными и служили для бороздования или рыхления. Появившиеся много позже отвальные приспособления, частично переворачивающие пласт земли, так же как и у рал, были симметричны. Рала оставались ведущим типом пахотных орудий в Европе вплоть до конца 1-го тысячелетия н. э.

В отдельных регионах их использовали и в XX в. С VIII в. в северо-западных районах Русской равнины появился новый тип упряжного орудия – соха. Характерные признаки сох – это высокое расположение места приложения тяговой силы и двузубость рабочей части. Для русских сох характерна одноконная запряжка. Рабочая часть и оглобли соединялись при помощи горизонтального бруса, расположенного перпендикулярно движению орудия. Соха была легкой, что позволяло менять глубину обработки почвы, «объезжать» или «перезезжать» древесные корни или камни. Простота изготовления, дешевизна, легкость в управлении более чем на тысячу лет сделали соху главным орудием в крестьянском хозяйстве лесной зоны Восточной Европы. Так, даже в начале XX в. в центральных губерниях Европейской России плуг можно было встретить лишь в одном-двух крестьянских дворах из тысячи – в остальных работали сохой.

Рало и соха были бороздящими, рыхлящими орудиями. Они лишь рыхлили верхний слой почвы, но не переворачивали ее пласты. Поэтому удобрения, разбрасываемые по полю, оставались на поверхности, минерализовывались и быстро теряли питательную силу, а обогащен-

ный питательными веществами слой почвы оставался на глубине. Эту проблему решили простым способом: изобрели односторонний отвал, который оборачивал пласт почвы. Односторонний отвал стал отличительным признаком грядкового плуга (собственно плуга), который вошел в постоянное употребление в Европе на рубеже 2-го тысячелетия. Преобладали плуги с колесными передками. Плуг, влекаемый одной или несколькими парами тягловых животных, давал возможность обрабатывать тяжелые почвы, осуществлять глубокую вспашку.

Боронование возникло как дополнение к первичному рыхлению возделываемой почвы.



а)



б)

Рис. 1. Древние почвообрабатывающие орудия:
а – борона-суковатка; б – соха

Бороны использовали для предварительного размягчения твердой пашни, разрыхления комьев и прикрывания посевных семян. Долгое время бороны были четырехугольными, зубья располагались в узлах правильной решетки или на параллельно закрепленных брус-

ях. В XIII в. появились бороны треугольной, а в XV в. – трапециевидной формы. В середине XVIII в. во Фландрии придумали борону ломаной формы. В 1839 г. англичанин Амстронг придал этой бороне зигзагообразную форму, а зубья распределил так, что ни один не попадал в след другому. Такие бороны, получившие название «зигзаг», используют до сих пор. Идеал, к которому стремились при развитии конструкции плуга, – большая глубина обработки и наиболее полный оборот пласта почвы.



Рис. 2. Старинный деревянный плуг

С освоением новых земель связывают также появление и распространение в Европе в XI–XIII вв. нового варианта паровой системы земледелия – трехполья. Правильное трехполье предполагает деление земли на три части, одну из которых засеивали озимыми, другую – яровыми, третью оставляли под паром.

В первой половине 2-го тысячелетия правильная паровая система распространялась медленно, разноразличной в методах обработки почвы был очень велик. Число и размеры полей варьировали и, как правило, не совпадали. Регулярность чередования постоянно нарушалась. Средний урожай зерновых в большинстве районов Европы оставался низким. Он колебался от 4 до 5 на землях феодалов. У крестьян он был, видимо, еще ниже. Причины низкой урожайности кроются в недостатке удобрений, нерациональном чередовании культур, неумении бороться с сорняками. Высоки были и нормы высева семян из-за низкой всхожести. Распашка огромных площадей без совершенствования технологии земледелия вела к истощению почвы, урожайность падала, пашни забрасывались. За демографическим приростом последовал глубокий спад, в большинстве стран «великая распашка» закончилась социально-экономическим кризисом.

Для выхода из кризиса, последовавшего за «великой распашкой», в Восточной Европе использовали дополнительные резервы колонизации, которых не было в Западной Европе: лесостепные и степные районы юго-востока Европы, Сибирь.

В Западной Европе происходил иной процесс. Начиная с XIV–XV вв. росли многоотраслевое хозяйство, специализация отдельных хозяйств и районов: развивались садоводство, виноградарство, выращивание технических культур. Центр прогресса агрикультуры переместился с сеньориального хозяйства на земли крестьян и арендаторов.

В первобытном земледелии урожай убирали без применения орудий, срывая колосья руками или выдергивая стебли с корнем. Жатва – срезание колосьев или стеблей растений. Основные типы орудий, применявшиеся для уборки урожая хлебных злаков: обычные неспециализированные ножи; жатвенные ножи с прямым или слабоизогнутым лезвием; серпы, отличающиеся от жатвенных ножей сильно изогнутым лезвием и определенным положением рукоятки; косы. Серпы и косы были распространены у народов с пашенным земледелием.

В начале эпохи бронзы появились цельнокремневые серпы, двухсторонне обработанные, с изогнутым лезвием.

Не позже XVIII в. до н. э. появились полулунные и клювовидные цельнокремневые серпы; их лезвие тщательно обрабатывали, часто специально насекали зубцы. Наиболее ранние бронзовые серпы по форме повторяли цельнокремневые. На рубеже нашей эры в Римской Галлии была изобретена очесывающая жатка, по сути представлявшая собой первый зерноуборочный комбайн. Ее устройство было описано в I в. Плинием Старшим, а затем в IV в. – Палладием. Плиний описал жатки как «очень большие рамы, оснащенные зубцами у края и несомые на двух колесах; их везут через зерно вьючными животными (лошадью, ослом, мулом), которые толкают сзади». На переднем крае коробчатого сборника было расположено зубчатое лезвие. Стебли попадали в промежутки между зубьями, колосья срезались острыми зубцами и падали в короб. Высоту среза регулировал погонщик, который следовал сзади. Впереди, немного сбоку жатки шел рабочий, который специальным деревянным толкателем помогал срезать колосья. Жатки различались по форме контейнеров, величине колес и другим параметрам. Жатка не получила широкого распространения в Римской империи и была предана забвению на полторы тысячи лет.

Большинство изобретений в сфере техники и технологии традиционного земледелия в Европе были направлены на обработку земли. Наиболее медленно усовершенствования происходили в сферах, не влияющих напрямую на эффективность сельхозпроизводства: жатва, обмолот, веяние. Исключением является сравнительно ранняя механизация помола зерна – ее широкое распространение во многом было обязано развитию феодального хозяйства. В целом характер развития техники земледелия в Европе называют кумулятивным: при появлении новых орудий и технологий долгое время, иногда тысячи лет, они соседствовали с уже имеющимися. Это позволяло вернуться к вроде бы давно изжитым приемам работы, если того потребовали обстоятельства. Иллюстрацию этого явления можно увидеть в современной России, где после разрушения колхозной системы многие крестьяне вернулись к традиционным способам сельского хозяйства (обработка земли с помощью сохи и др.).

2.2. Эволюция создания конструкции зерноуборочного комбайна

1826 г. – шотландец Патрик Белл изготовил и испытал первый работоспособный образец конной жатки для уборки зерновых культур. Жатка имела все те же элементы, что и современные: раму с колесами, механизм, для присоединения к энергосредству (лошади), режущий аппарат, мотовило, полотняный транспортер.

1836 г. – разработка и патентование зерноуборочного комбайна Муром и Хаскаллом. Машина работала сначала в штате Мичиган, а затем в Калифорнии вплоть до 1856 г., когда сгорела в поле. Этот комбайн стал прототипом «Калифорнийского комбайна».

1842 г. – Джером Инкриз Кейс, которого впоследствии называли «королем молотилок», основал компанию «Case IH», которая выпускала паровые двигатели для сельского хозяйства, а также стала крупнейшим производителем молотилок.

1843 г. – в Австралии (округ Аделаида) изобретена и испытана Джоном Ридли очесывающая жатка. В последующие годы производство жаток достигало нескольких тысяч в год.

1847 г. – американский изобретатель и предприниматель Сайрус Мак-Кормик приступил к выпуску жатки для скашивания зерновых культур.

1868 г. – русский агроном А. Р. Власенко строит конную зерноуборку на корню. Русский земельный союз награждает машину золотой медалью.

1883 г. – в Австралии на ежегодном конкурсе уборочных машин побеждает очесыватель Джеймса Морроу. В машине впервые вместе с очесывателем применены молотилка, очистка, бункер, заполнитель мешков зерном. Это был первый Австралийский зерноуборочный комбайн.

1884 г. – в Австралии на соревнованиях Виктор Мак-Кей представляет свой более совершенный вариант очесывающего комбайна.

1887 г. – канадская компания «Массей-Гаррис» начала выпуск очесывающих комбайнов по образцу австралийских комбайнов.

В 80-х гг. XIX в. в Калифорнии выпуском комбайнов занимались уже 6 компаний. Наиболее продвинулась компания «Холт» – ныне это «Катерпиллер», благодаря тому, что выпускала комбайны, прицепные к гусеничному трактору, собственного производства.

В конце XIX в. в Калифорнии работало уже около 600 комбайнов. Машины имели вес до 15 т и ширину захвата до 12 метров. Применялся как конный, так и тракторный привод, причем в первом случае требовалось до 40 лошадей или мулов.

1895 г. – в Австралии, г. Балларет, компания «Саншайн Харвестер», принадлежащая Виктору Мак-Кею, начала серийный выпуск очесывающих комбайнов (stripper). К этому времени крупнейшими производителями стрипперов Австралии были компания Меллора, Никольсона и Морроу, Робинсона.

1900 г. – Всемирная выставка науки и техники в Париже. Американские сельскохозяйственные машиностроительные компании специально для выставки совместно выпустили книгу о зерноуборочных машинах – «The Retrospective Exhibition of Harvesting Machinery». В этой книге американские комбайны не упоминаются вообще, поскольку веры в будущее комбайнов в то время ни у кого не было.

1901 г. – канадская компания «Массей Гаррис» продала в Австралии 350 очесывающих комбайнов, а с 1904 г. начала экспортировать эти комбайны в Аргентину.

1902 г. – начало экспорта очесывающих комбайнов «Саншайн» производства австралийской компании Виктора Мак-Кея в Аргентину. К 1915 году в Южной Америке работало уже около 10 тысяч очесывающих комбайнов.

1907 г. – впервые австралийский стрипперный комбайн был продемонстрирован на выставке в Ростове-на-Дону. Эта машина прошла испытания в Ростове, Самаре, Акимовке. Испытания показали положительные результаты только при уборке сухих хлебов на юге России и в Малороссии. Несмотря на то, что в Россию были ввезены еще несколько очесывающих комбайнов, распространения они не получили.

1923 г. – в Австралии в компании «Саншайн Харвестер» под руководством Хедли Тейлора создан самоходный очесывающий комбайн.

1927 г. – XV съезд ВКП(б) в Москве провозгласил курс на коллективизацию сельского хозяйства.

1928 г. – австралийская компания «Саншайн Харвестер» начала выпуск очень удачной конструкции прицепного очесывающего комбайна серии FL, который выпускался вплоть до 1954 г.

1930 г. – немецкая компания «Claas» выпустила первый прицепной европейский комбайн собственной конструкции.

1930 г. – в СССР, в г. Запорожье был выпущен первый отечественный комбайн «Коммунар». Через два года выпуск этого комбайна наладили также в Саратове.

1932 г. – в Ростове-на-Дону завод «Ростсельмаш» приступил к выпуску зерноуборочных комбайнов «Сталинец-1» (С-1).

1937 г. – на Всемирной промышленной выставке в Париже комбайн С-1 получил «Гран при», до 1940 г. было выпущено 50 тысяч машин.

1944 г. – Красноярский завод комбайнов начал выпуск комбайнов «Коммунар».

1947 г. – завод «Ростсельмаш» приступил к выпуску зерноуборочных комбайнов «Сталинец-6», а затем и «РСМ-8».

1953 г. – немецкая компания «Claas» впервые в Европе начала выпуск самоходных зерноуборочных комбайнов.

1958 г. – завод «Ростсельмаш» начал производство самоходных зерноуборочных комбайнов «СК-3», которые выпускались до конца 1961 г., было выпущено свыше 100 тысяч машин.

1962 г. – начато производство более производительных самоходных комбайнов СК-4, которых было выпущено более миллиона.

1969 г. – на Красноярском комбайновом заводе поставлен на производство двухбарабанный комбайн СКД-5 «Сибиряк». Впервые

в мире был разработан и стал выпускаться комбайн с кабиной для защиты комбайнера от непогоды.

1973 г. – на конвейер «Ростсельмаш» поставлен комбайн СК-5 «Нива». Производство этого комбайна, внесенного в книгу рекордов Гиннеса, продолжается до сих пор.

1995 г. – компания «Claas» приступила к выпуску линейки самых мощных в мире самоходных комбайнов «LEXION» с производительностью свыше 40 т/ч.

2000 г. – собственником комбайнового завода «Ростсельмаш» становится компания «Новое Содружество», которая обновляет линейку комбайнов выпуском новых машин «ACROS-530», «Вектор-410», «Нива-Эффект».

Эволюционное развитие комбайнов. Первые комбайны, применявшиеся для уборки зерна, появились в Калифорнии (США) в конце 70-х гг. XIX в. Это были громоздкие сооружения, которые приводились в движение упряжкой из 20–40 лошадей или мулов. Животные могли работать с комбайном не более трех часов, затем их заменяли другими (свежими). Современному горожанину даже представить трудно организацию уборки таким комбайном. Мало того, что требовался огромный табун лошадей, так их нужно было еще запрячь и выпрячь из комбайна. Калифорнийские комбайны не получили широкого распространения в Америке (рис. 3). Они так бы и остались техническим курьезом, если бы не распространение тракторов. Вместо табуна лошадей требовался трактор, который управлялся одним человеком и мог работать весь день.



Рис. 3. «Калифорнийский» прицепной комбайн (<http://www.historycomeroy.com>)

Историческое исследование обнаружило, что в то же время кроме калифорнийского существовал еще один конный прицепной комбайн. Причем более совершенный, поскольку при примерно равной производительности для его привода требовалось только 5–10 лошадей (рис. 4). Разработан он был в Австралии в 1896 г.

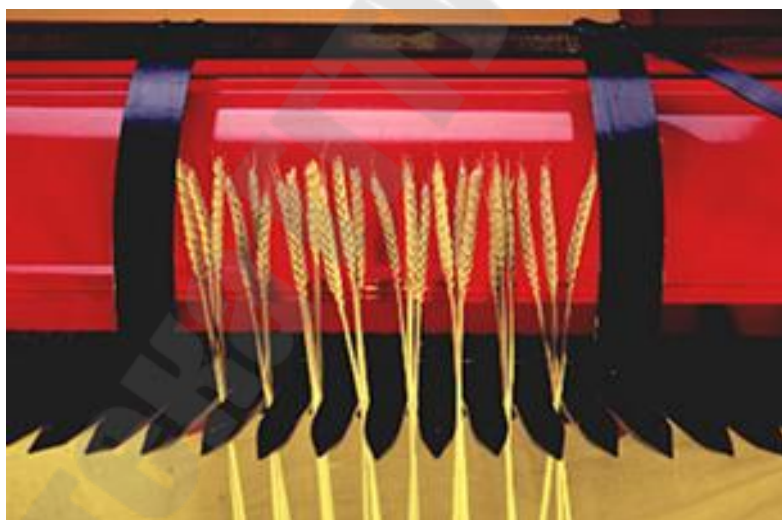


Рис. 4. Австралийский прицепной комбайн и принцип работы его очесывающих зубьев

Прицепной тракторный комбайн (рис. 5) позволил существенно снизить трудоемкость уборочных работ, повысить производительность комбайнов. Но такой агрегат был длинным и не очень маневренным. Обслуживала прицепной комбайн команда из нескольких человек. Поэтому на следующем этапе его сменил самоходный комбайн (рис. 6), которым управляли и которого обслуживали один-два человека.



а)



б)

Рис. 5. Прицепной комбайн:
а – американский; б – австралийский



а)



б)

Рис. 6. Самоходный комбайн:
а – канадский; б – австралийский

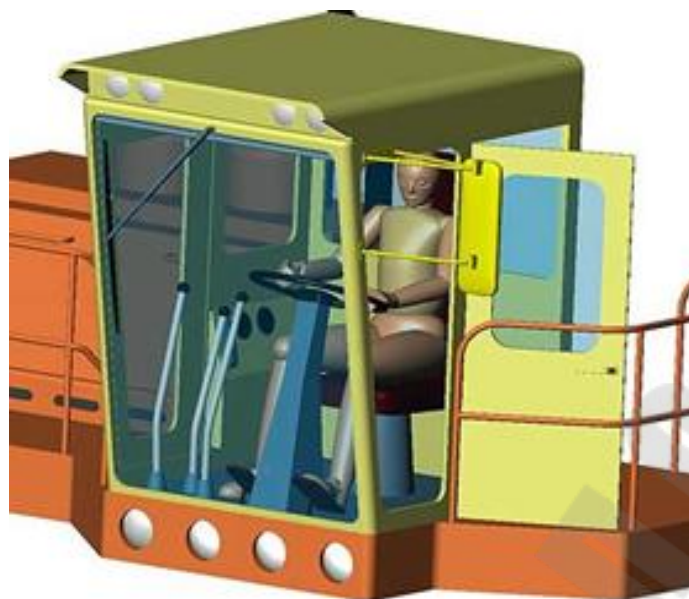


Рис. 7. Комбайн с кабиной

Следующим этапом развития комбайна было оборудование его кабиной, улучшавшей условия работы комбайнера (рис. 7). Комбайн становился все более производительней и тяжелей. И наконец, наступил момент, когда ременная передача трансмиссии уже не могла надежно его перемещать. На смену механической трансмиссии пришла гидравлическая.

2.3. Результаты эволюционного развития зерноуборочного комбайна

Выводы по результатам анализа эволюционного развития зерноуборочного комбайна следующие:

1. Комбайны развивались в направлении от прицепных машин к самоходным. Прицепные комбайны существуют и в настоящее время, но несмотря на свою дешевизну они не находят широкого применения. Причинами этого являются неудобство управления такими агрегатами, невозможность делать прокосы посередине поля, худшая маневренность и большие разворотные полосы.

2. Штат первых прицепных комбайнов достигал нескольких человек. Один управлял движением комбайна, другой – положением жатки, третий – упаковкой зерна в мешки, четвертый и пятый – копнением солом. А был еще кучер и его помощник, которые управляли лошадьми.

Затем с появлением тракторной тяги и переходом к самоходным комбайнам число персонала уменьшилось до одного комбайнера.

3. Очесывающие комбайны, в сравнении со скашивающими, обладали меньшими размерами, весом, сложностью и энергозатратами на уборке. Их недостатком были большие потери зерна при уборке влажных, засоренных хлебостоев. Из-за этого они не нашли широкого применения нигде кроме Австралии и Аргентины. Попытки их применения в Европе и России не были успешными.

4. Загрузка обмолоченного зерна в мешки применялась в американских, европейских и австралийских комбайнах. Это позволяло разгружать мешки на ходу комбайна не прерывая технологический процесс уборки. Однако эта технология получила широкое распространение лишь в Австралии, где сухой климат не требовал сушки зерна. В этом случае можно было перевозить и хранить зерно в мешках, не опасаясь его порчи.

5. Уборка соломы являлась неременной дополнительной операцией косилочных комбайнов. У очесывающих комбайнов солома оставалась на корню. Для уборки соломы в конструкции комбайнов применялись прессы, копнителы, валкообразователи, измельчители-погрузчики и измельчители-разбрасыватели. Все эти устройства требуют значительных дополнительных затрат энергии.

6. После установки кабины на комбайн это устройство развивалось в направлении создания более комфортных условий для оператора. Устанавливались более комфортные кресла, вентиляторы для охлаждения сменились кондиционерами, улучшалось остекление кабин. Стоимость кабин и установленных в них органов управления сейчас достигает половины стоимости комбайна.

2.4. Рабочее место и организация труда современного инженера

Использование современных компьютерных технологий позволяет существенно сократить длительность проектно-конструкторских работ, по-новому реализовать проектные процедуры и в результате получить более эффективные технические решения. Новейшие компьютерные технологии позволяют организовать автоматизированное рабочее место конструктора-проектировщика. Базовыми программными продуктами АРМ конструктора-проектировщика являются опе-

рационная система Microsoft Windows и универсальные графические платформы AutoCAD (фирма Autodesk) или КОМПАС-График (фирма АСКОН). Использование этих программных продуктов дает возможность реализовать следующие функции:

- обеспечить стандартную системную среду для работы в локальной вычислительной сети проектной организации;
- использовать базовый графический файловый формат (dwg, cdw), а также ссылочную технологию интеграции интеллектуальных объектов – элементов трехмерных моделей, созданных различными программными приложениями в едином комплексном проекте;
- создать основу для коллективной одновременной работы проектировщиков, выполняющих различные разделы проектной документации комплексного проекта в целях сокращения времени проектирования.

Ядром специализированного автоматизированного рабочего места конструктора-проектировщика является системы параметрического твердотельного 3D-проектирования и конструирования с адаптивными сборками Autodesk Inventor или КОМПАС-3d. Эти программные продукты обладают широким диапазоном функциональных возможностей, достаточно просты в освоении и в применении, а также характеризуются высокой результативностью при решении практических задач.

ТЕМА 3. ПРОДУКЦИЯ ПО «ГОМСЕЛЬМАШ». СИСТЕМА МАШИН ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Универсальные энергетические средства (рис. 8–10) имеют дизельный двигатель мощностью 250 (280) л. с. и гидропривод ходовой части, обеспечивающий бесступенчатую регулировку скорости движения. Снабжены передним и задним универсальными навесными устройствами и валами отбора мощности.



Рис. 8. Универсальное энергетическое средство УЭС-2-280А

Характеристика УЭС-2-280А: мощность двигателя – 290 л. с.;
часовой расход топлива – 46,6 кг.



Рис. 9. Универсальное энергетическое средство УЭС-2-250А

Характеристика УЭС-2-250А: мощность двигателя – 265 л. с.;
часовой расход топлива – 43,2 кг.



Рис. 10. Универсальное мобильное энергетическое средство УЭС-290/450

Характеристика УЭС-290/450: мощность двигателя энергетического средства от 290 до 450 л. с.; часовой расход топлива – 53,3 кг (при мощности 350 л. с.).

Зерноуборочный комплекс (рис. 11) предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений – для уборки зерновой части кукурузы, подсолнечника, сои, сорго, зернобобовых, крупяных культур и семенников трав.



Рис. 11. Зерноуборочный комплекс КЗР-10 «Полесье-Ротор»

Характеристика КЗР-10 «Полесье-Ротор»: производительность зерноуборочного комплекса – 14,4 т/ч; расход топлива – 3,9 кг/т; агрегатируется с УЭС-2-250А; пропускная способность 8–10 кг/с.

Косилка (рис. 12) предназначена для кошения зеленых сеяных и естественных трав с одновременным плющением и укладкой скошенной массы на стерню в три валка. Может быть использована для кошения трав без плющения с укладкой скошенной массы в валки. Каждая из трех секций косилки независимо от других копирует рельеф поля. Ротационный режущий аппарат обеспечивает низкий качественный срез. Бильные кондиционеры надламывают стебли, что сокращает время провяливания скошенных растений. Большая ширина захвата и высокая энергонасыщенность обеспечивают высокую производительность косилки.



Рис. 12. Косилка-плющилка навесная КПР-9 производства РУП «Гомсельмаш»

Характеристика КПР-9: косилка агрегатируется с трактором класса тяги 5,0, УЭС-2-250А, УЭС 2-280А УЭС-290/450; производительность – 8,5 га/ч; расход топлива – 3,2 кг/га; ротационная, трехсекционная, с независимым продольным и поперечным копированием рельефа, ширина захвата – 8,7 м, рабочая скорость до 12 км/ч.

Косилка (рис. 13) предназначена для кошения зеленых сеяных и естественных трав с одновременным плющением и укладкой скошенной массы на стерню в один или два валка. Каждая из секций косилки независимо от другой копирует рельеф поля в продольном направлении, преодолевая препятствия высотой до 380 мм, а также в поперечном направлении. Режущие аппараты обеспечивают чистый срез и высокую надежность работы косилки. Бильные кондиционеры с двумя скоростями вращения (для бобовых и злаковых культур) имеют возможность регулирования степени плющения скошенной массы.

Поперечные ленточные транспортеры с изменяемым направлением движения позволяют укладывать скошенную массу в два валка по сторонам энергосредства или в один сдвоенный валок между полосами энергосредства.



Рис. 13. Косилка-плющилка фронтально-навесная КПН-6-Ф

Характеристика КПН-6-Ф: косилка агрегируется с УЭС-2-250А/280А, УЭС-210/280; производительность – 6,0 га/ч; расход топлива – 4,5 кг/га; ротационная, двухсекционная, с независимым копированием рельефа и возможностью укладки сдвоенного валка, ширина захвата – 6 м, рабочая скорость до 12 км/ч.

Комбайн полунавесной (рис. 14) оснащен измельчителем радиально-дискового типа, обеспечивающим максимально высокое качество измельчения листостебельной массы и дробления зерен кукурузы. Комбайн, снабженный роторной жаткой, способен убирать кукурузу

любой высоты и урожайности, независимо от схем и способов посева. Доизмельчающее устройство активного типа обеспечивает разрушение зерен кукурузы восковой и полной спелости. Камнеметаллодетектор надежно защищает измельчающий аппарат и предотвращает аварийные поломки.



Рис. 14. Комбайн кормоуборочный полунавесной КПК-3000

Характеристика КПК-3000: комбайн полунавесной агрегируется с УЭС-250, УЭС-2-250А, УЭС-2-280А; расход топлива – 0,4–1,0 кг/т; пропускная способность на кукурузе – 25 кг/с.

Комбайн (рис. 15) предназначен для прямой и отдельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений, поставляемых по отдельному заказу, – для уборки рапса, зерновой части подсолнечника, зернобобовых, крупяных культур, семян трав и кукурузы на зерно.

Комбайн в основной комплектации состоит из самоходной молотилки и жатки для зерновых культур. Выполнен по традиционной схеме с применением барабанного молотильного аппарата и клавишного соломотряса.



Рис. 15. Зерноуборочный комбайн самоходный КЗС-7

Характеристика КЗС-7: производительность комбайна – 10–11,5 т/ч; расход топлива – 2,8 кг/т; пропускная способность – 7–8 кг/с.

Комбайн (рис. 16) предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений, поставляемых по отдельному заказу, – для уборки кукурузы на зерно, подсолнечника, сои, сорго, зернобобовых, крупяных культур и семенников трав.

Жатка оснащена планетарным приводом ножей и режущим аппаратом типа Schumacher. Высокая частота резания и двойная режущая кромка гарантируют быстрый и чистый срез.

Бортовой компьютер осуществляет автоматический контроль за основными параметрами рабочих органов и ходом техпроцесса, гарантируя высокий уровень управления уборкой.

В комбайне применены управляемые из кабины электромеханизмы регулировки зазоров в молотильном аппарате и оборотов вентилятора очистки.

Конструкция моста ведущих колес обеспечивает надежность ходовой системы. Вибрационное дно зернового бункера позволяет стабильно выгружать зерно повышенной влажности со скоростью 2 т в минуту. Солома может укладываться в валок или измельчаться и разбрасываться по полю.



Рис. 16. Зерноуборочный комбайн самоходный КЗС-8

Характеристика КЗС-8: производительность комбайна – 11,5 т/ч; пропускная способность – 9,2 кг/с на полях с урожайностью не менее 50 ц/га; двигатель 210-230 л. с.

Комбайн (рис. 17) предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений, поставляемых по отдельному заказу, – для уборки кукурузы на зерно, подсолнечника, сои, сорго, зернобобовых, крупяных культур и семенников трав. Солома может укладываться в валки или измельчаться и разбрасываться по полю.



Рис. 17. Зерноуборочный комбайн самоходный КЗС-10К

Характеристика КЗС-10К: производительность комбайна – 15,0 т/ч; расход топлива – 2,9 кг/т; пропускная способность – 8–10 кг/с.

Комбайн (рис. 18) предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений, поставляемых по отдельному заказу, – для уборки кукурузы на зерно, подсолнечника, сои, сорго, зернобобовых, крупяных культур и семенников трав.

Классическая компоновка машины сочетается с применением современных конструкторских решений и комплектующих высокой надежности. Двухбарабанная система обмолота в сочетании с увеличенной площадью очистки обеспечивают высокую производительность комбайна на высокоурожайных, в том числе длинностебельных и влажных хлебах. Солома может укладываться в валки или измельчаться и разбрасываться по полю.



Рис. 18. Зерноуборочный комбайн самоходный КЗС-1218

Характеристика КЗС-1218: производительность комбайна – 18 т/ч; расход топлива – 3 кг/т; пропускная способность – 12–13 кг/с.



Рис. 19. Комплект дополнительного оборудования для уборки кукурузы на зерно КОК-6, КОК-6-1, КОК-6-2, КОК-6-3

Характеристика комплекта дополнительного оборудования для уборки кукурузы на зерно (рис. 19): производительность 16 т/ч; устанавливается на зерноуборочные комбайны КЗС-10К (КОК-6-1), КЗС-1218 (КОК-6-2) и КЗС-7(КОК-6-3) и комплекс КЗР-10 (КОК-6); состоит из початкоотделителя с измельчителем стеблей, комплекта узлов и деталей для агрегатирования и дооборудования МСУ; количество убираемых рядков – 6, ширина междурядий – 0,7 м.

Косилка (рис. 20) предназначена для трав с одновременным плющением скошенных растений и укладкой их на стерню в валок и может быть использована при скашивании трав без плющения со сбором массы в валок.

Косилка может быть оборудована пальцевым и беспальцевым режущими аппаратами. Жатвенная часть копирует рельеф поля в продольном и поперечном направлениях.



Рис. 20. Косилка-плющилка прицепная сегментно-пальцевая КПП-4,2

Характеристика КПП-4,2: косилка агрегируется с трактором класса тяги 1,4 и 2; производительность – 2,5 га/ч; 3,9 кг/га; ширина захвата – 4,2 м.

Косилка-измельчитель (рис. 21) предназначена для кошения трав и кукурузы высотой до 1,2 м с измельчением и погрузкой в транспортное средство. Может быть использована для скашивания ботвы картофеля. Оборудована автосцепкой. Ускоритель выброса обеспечивает доизмельчение растительной массы и высокую скорость ее транспортировки, что способствует хорошему уплотнению измельченной массы в кузове транспортного средства, а следовательно, сокращению числа транспортных средств при перевозке измельченной массы.

Ротор косилки имеет Г-образные ножи, форма которых обеспечивает минимальное повреждение корней растений. Это повышает урожайность вторых и последующих укосов и уменьшает загрязнение измельченной массы землей.

Шарнирное крепление ножей снижает вероятность поломок от камней и других предметов. Поворотный силосопровод обеспечивает оптимальную загрузку транспортных средств.



Рис. 21. Косилка-измельчитель полунавесная КИН-Ф-1500

Характеристика КИН-Ф-1500: косилка-измельчитель агрегируется с трактором класса тяги 1,4 и 2; расход топлива – 0,45 кг/т; пропускная способность – 5 кг/с.

Комбайн (рис. 22) скашивает травы и силосные культуры, в том числе кукурузу в фазе восковой и полной спелости, подбирает массу из валков с одновременным измельчением и погрузкой в транспортные средства. Комбайн комплектуется роторной жаткой для уборки грубостебельных культур, жаткой для уборки трав и подборщиком.



Рис. 22. Комбайн кормоуборочный прицепной КДП-3000

Характеристика КДП-3000: комбайн агрегатируется с трактором класса тяги 3–5; пропускная способность на кукурузе – 10–25 кг/с; расход топлива – 0,4–0,6 кг/т; меньшее значение с трактором с двигателем мощностью 150 л. с., большее – 250 л. с.

Комбайн льноуборочный (рис. 23) предназначен для теребления льна-долгунца в период ранней желтой и желтой спелости, очеса семенных коробочек, сбора очесанного вороха в бункер и расстила стеблей в ленту без очеса семенных коробочек.

Значительный объем бункера позволяет сократить вынужденные простои для выгрузки очесанного вороха в транспортные средства и благодаря этому повысить сменную производительность комбайна.



Рис. 23. Комбайн льноуборочный самоходный КЛС-3,5

Характеристика КЛС-3,5: производительность 1,1 га/ч; расход топлива 8,6–9,0 кг/га; однопоточный с вместимостью бункера 3,5 м³.

Полуприцепной двухрядный картофелеуборочный комбайн (рис. 24) с бункером и переборочным столом предназначен для уборки картофеля на гребневых посадках с междурядьями 70, 75, 90 см на легких и средних почвах, отделения картофеля от примесей и накопления его в бункер с последующей выгрузкой в транспортное средство.



*Рис. 24. Картофелеуборочный комбайн ПКК-2-02 «Полесье»
полуприцепной*

Характеристика ПКК-2-02 «Полесье»: картофелеуборочный комбайн предназначен для междурядий 70, 75, 90 см, с бункером 2,0–2,5 и переборочным столом; производства РУП «Гомсельмаш»; агрегатируется с трактором класса тяги 1,4; производительность – 0,28–1,0 га/ч; расход топлива – 22–29 кг/га.

Комбайн (рис. 25) предназначен для уборки ботвы, выкапывания корнеплодов с очисткой их вороха от примесей и укладкой в валок.

Комбайн оборудован устройством для укладки ботвы в валок. Могут использоваться на почвах влажностью до 27 %, в том числе на тяжелых почвах пригодных для свеклосеяния.



Рис. 25. Комбайн свеклоуборочный навесной КСН-6-2М

Характеристика КСН-6-2М: комбайн агрегатируется с УЭС-2-250А, УЭС-2-280А; производительность 0,96–1,92 га/ч; расход топлива 18–21 кг/га; оборудован двухпорным шнеком для укладки ботвы в валок, может использоваться на тяжелых почвах (влажностью до 27 %).

Характеристика агрегата для уборки сахарной свеклы (рис. 26), копателя, валкоукладчика навесного и подборщика-накопителя корнеплодов представлена в таблице 1.



Рис. 26. Агрегат для уборки сахарной свеклы в составе КВН-6 и ПНК-15

Таблица 1

Составляющие агрегата для уборки сахарной свеклы в составе КВН-6 и ПНК-15

Наименование	Марка	Агрегируется с трактором класса тяги	Производительность, га/ч	Особенности конструкции и применения
Агрегат для уборки сахарной свеклы в составе КВН-6 и ПНК-15	АСУ-6	УЭС-290/450	0,96–1,92	Уборка осуществляется за один проход, имеет бункер для сбора корнеплодов и выгрузки их в транспортное средство
Копатель валкоукладчик навесной	КВН-6	УЭС-290/450	0,96–1,92	Для уборки корней с укладкой в валок и разбрасыванием ботвы по полю

Наименование	Марка	Агрегатируется с трактором класса тяги	Производительность, га/ч	Особенности конструкции и применения
Подборщик-накопитель корнеплодов	ПНК-15	5,0 УЭС-290/450 УЭС-2-250А	0,96–1,92	Для подбора корнеплодов из валка, доочистки от примесей, сбора их в бункер и погрузки в транспортное средство

ТЕМА 4. ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ МАШИНАМИ, ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ И УБОРКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

4.1. Факторы, определяющие эффективность работы уборочных машин

Характерным признаком для большинства уборочных процессов является сезонность их выполнения, а также большая изменчивость свойств обрабатываемых материалов. Кроме того, уборочные процессы необходимо проводить в жесткие агротехнические сроки. Все это оказывает большое влияние на характер протекания процессов и предъявляет специфические требования к средствам, необходимым для их выполнения. Многие сельскохозяйственные машины не имеют конкретных показателей и строгих критериев качества работы. Очень часто машинами управляют «на глазок», на слух. Поэтому качество уборки во многом зависит от квалификации и опыта обслуживающего персонала. Это вызывает большую напряженность труда, особенно при переходе на повышенные рабочие скорости, когда человек уже не в состоянии длительное время качественно следить за работой агрегата и управлять им. Эффективность хозяйственной эксплуатации уборочных машин в связи с этим значительно снижается.

Уборочные машины являются наиболее сложными агрегатами, выполняющими большое число операций (скашивание наземных культур, извлечение из почвы корневых клубнеплодов, снятие с растений плодов, ягод, овощей и других продуктов, а также транспортировка, сепарация, обработка и частичная переработка продуктов уборки).

Эффективность уборочной техники обычно оценивается количеством убранной в единицу времени продукции и ее качеством, а производительность уборочного агрегата в основном определяется пропускной способностью, шириной захвата, скоростью движения. В зависимости от условий уборки производительность уборочных машин необходимо менять в процессе работы, изменяя скорость движения, ширину захвата и в некоторых случаях пропускную способность. Для этого уборочные машины должны иметь специальные средства, чтобы можно было осуществлять соответствующие регулировки.

Качество уборки определяется такими показателями, как высота среза, степень выделения убираемого продукта из сопутствующего материала, степень измельчения массы, полнота извлечения корнеклубнеплодов из почвы при допустимом их повреждении, полнота съема хлопка, чайного листа, овощей, плодов и ягод и др. Чтобы поддерживать требуемые значения показателей качества, уборочные машины также должны иметь соответствующие регулирующие органы.

Во время работы уборочные машины непрерывно испытывают со стороны обрабатываемых сред и материалов внешние воздействия, которые нарушают внутренние технологические операции. Это оказывает существенное влияние на эффективность выполняемого процесса.

К внешним воздействиям, которые, как правило, носят случайный характер, можно отнести неровности рельефа поля и рядков убираемых культур, неравномерность урожайности культур по длине гона, засоренность, различие по влажности и другим физико-механическим свойствам убираемых культур и т. д. Учет этих воздействий и соответствующая реакция на них не могут быть запрограммированы. Поэтому требуемая эффективность уборочной машины может быть достигнута благодаря ее приспособливанию к переменным условиям уборки, а также за счет соответствующих настроек и регулировок рабочих органов и механизмов.

Внутренние нарушения технологических операций не только ухудшают качество выполняемого процесса, но вызывают забивания и поломки рабочих и транспортирующих органов и механизмов привода. Внутренние нарушения могут возникать также из-за несоответствия конструктивных параметров рабочих органов машины технологическим требованиям или из-за недостаточной их надежности.

Стремление более полно удовлетворить технологические требования привело к значительному усложнению уборочных машин, вве-

дению большого числа тонких регулировок, что требует от обслуживающего персонала повышенного внимания, высокой квалификации и большого опыта работы. Поэтому большинство уборочных машин в процессе работы недоиспользуют проектные возможности по параметрам производительности и качеству уборки.

Дальнейшее совершенствование конструкций серийных уборочных машин, изыскание новых рабочих органов и технологических процессов, увеличение энергонасыщенности машин, повышение их производительности благодаря увеличению пропускной способности, ширины захвата и скорости движения, улучшение комфортабельности, гигиены труда и техники безопасности обслуживающего персонала и некоторые другие мероприятия позволят в ближайшие годы оснастить сельское хозяйство более совершенной уборочной техникой. Однако, как показывает опыт, наиболее эффективно использовать эту технику можно только при условии автоматизации основных технологических операций или целых процессов, выполняемых уборочными машинами. Практикой последних лет доказано, что даже простейшие средства автоматизации позволяют существенно снизить затраты труда и его напряженность вследствие сокращения ручных операций по управлению машиной; позволяют более объективно оценивать технологические изменения в работе машины и своевременно их ликвидировать и тем самым повысить производительность и качество уборочных работ.

4.2. Автоматизации загрузочных режимов уборочных машин

Проблема автоматизации загрузочных режимов уборочных машин по-разному решается на протяжении последних 50-ти лет. Автоматизировать режим загрузки мобильной уборочной машины сложнее чем у стационарной, поскольку ее рабочие органы взаимодействуют с растениями, а движители с микрорельефом и почвой. Специфическими особенностями эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов является стохастический характер внешних возмущающих воздействий, непостоянство внутренних параметров объектов регулирования и сжатые агросроки уборки сельскохозяйственных культур.

Опыт многолетней эксплуатации самоходных кормоуборочных комбайнов (СКК) показывает, что их работа также характеризуется значительными количественными и качественными переменами как в течение уборочного сезона, так и в течение дня и даже в пределах од-

ного и того же поля, что вызывает непрерывные изменения загрузки рабочих органов, ходовой части и двигателя. Причем урожайность сельскохозяйственной культуры представляет собой наиболее интенсивно изменяющееся возмущение.

Чтобы обеспечить постоянную подачу растительной массы, необходимо передаточное число трансмиссии изменять пропорционально урожайности, причем коэффициент пропорциональности в значительной мере определяется шириной захвата жатки.

Ручное управление поступательной скоростью не позволяет реализовать все возможности, заложенные в бесступенчатом ГП, и в значительной степени зависит от квалификации комбайнера. Желаемую зависимость скорости СКК от урожайности, ширины захвата и нагрузки на ходовую часть можно обеспечить только при помощи средств автоматики, исключая субъективность ручного управления. Выполняемый СКК технологический процесс зависит от многих факторов, охарактеризовать которые, замеряя лишь один параметр, невозможно.

Для проектирования системы автоматического управления необходимо знать динамические свойства СКК как объекта управления. Под динамическими свойствами здесь понимаются статические и динамические связи между регулируемыми величинами с одной стороны и возмущающими и управляющими воздействиями с другой.

В энергетическом аспекте кормоуборочный комбайн представляет сложную динамическую систему со многими аккумуляторами (кинетической) энергии, из которых можно выделить три главных: маховик ДВС, рабочие органы и гидропривод ходовой части. Энергия ДВС передается на привод рабочих органов (адаптер, питающий аппарат, измельчающий барабан) и объемный гидропривод ходовой части посредством клиноременных передач.

ТЕМА 5. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЭВОЛЮЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И УБОРКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

5.1. Закон прогрессивной эволюции техники

Действие закона прогрессивной эволюции в мире техники аналогично действию закона естественного отбора Дарвина в живой природе. Он отвечает на вопросы, почему происходит переход от предшествующей

щего поколения технического объекта (далее ТО) к следующему улучшенному поколению; при каких условиях, когда и какие структурные изменения происходят при переходе от поколения к поколению.

Формулировка закона: «В ТО с одинаковой функцией переход от поколения к поколению вызван устранением выявленного главного дефекта (дефектов), связанного, как правило, с улучшением критериев развития, и происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности». Возможны следующие наиболее вероятные пути иерархического исчерпания возможностей конструкции:

а) при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются параметры ТО до приближения к глобальному экстремуму по значениям параметров;

б) после исчерпания возможностей цикла *а* происходит переход к более рациональному техническому решению (структуре), после чего развитие опять идет по циклу *а*.

Циклы *а* и *б* повторяются до приближения к глобальному экстремуму по структуре для данного принципа действия;

в) после исчерпания возможностей циклов *а* и *б* происходит переход к более рациональному физическому действию, после чего развитие опять идет по циклам *а* и *б*.

Циклы *а–в* повторяется до приближения к глобальному экстремуму по принципу действия для множества известных физических эффектов.

Суть закона состоит в том, что в ТО с одинаковой функцией каждый переход от поколения к поколению вызван устранением возникшего главного дефекта (дефектов), связанного с улучшением какого-либо критерия (показателя) развития при наличии определенных технико-экономических условий.

Таким образом, сначала на 1-м уровне улучшаются параметры используемого технического решения. Когда изменение параметров мало что дает, изменения осуществляют на 2-м уровне путем перехода к более эффективному техническому решению без изменения физического принципа действия. Затем, при исчерпании параметров, переходят на новое более прогрессивное техническое решение. Указанные циклы на 1-м и 2-м уровнях происходят до тех пор, пока в рамках используемого принципа действия уже не находят новых технических решений, обеспечивающих улучшение интересующих показателей. После этого наступает революционное изменение на 3-м уровне – переход на новый, более прогрессивный принцип действия и т. д.

При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению действуют весьма определенные частные закономерности изменения конструкции, которые с большой вероятностью конкретизируют направление и характер изменения ТО в следующем поколении.

Следует иметь в виду, что в законе прогрессивной эволюции иерархическое исчерпание конструкции не действует формально: «пока не будут достигнуты глобально оптимальные параметры, не может произойти переход к новому техническому решению, или пока не будут исчерпаны возможности наилучшего технического объекта (в рамках определенного принципа действия), не может произойти переход к новому принципу действия». Закономерность иерархического исчерпания конструкции действует, как указано в формулировке закона, при соблюдении следующего условия: если при наличии необходимого научно-технического потенциала переход к новому техническому решению или принципу действия обеспечивает получение дополнительной эффективности, существенно превышающей дополнительные интеллектуальные и производственные затраты, то может произойти скачок к новому техническому решению или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущего технического решения или принципа действия.

5.2. Закон соответствия между функцией и структурой

Закон между функцией и структурой на протяжении многих веков изучали и обсуждали на философском уровне. При этом отмечали и анализировали многочисленные факты удивительных соответствий между выполненными функциями любого органа живого организма и его структурой (строением, конструкцией, конструктивными признаками). Такие же соответствия отмечались в деталях узлах машин, сооружений и других технических объектов.

Суть закона заключается в том, что в правильно спроектированном техническом объекте каждый элемент (от сложных узлов до простых деталей) и каждый конструктивный признак имеют вполне определенную функцию (назначение) по обеспечению работы технического объекта. И если лишить такой ТО какого-либо элемента или признака, то он либо перестанет работать (выполнять свою функцию), либо ухудшит показатели своей работы. В связи с этим у правильных ТО нет «лишних деталей».

Суть соответствия между функцией и структурой лежит в основе всей познавательной деятельности, связанной с анализом и изуче-

нием существующих ТО и всей проектно-конструкторской деятельности по созданию новых ТО.

Каждый элемент ТО или его конструктивный признак имеют хотя бы одну функцию по обеспечению реализации функции ТО, т. е. исключение элемента или признака приводит к ухудшению какого-либо показателя ТО или прекращению выполнения им своей функции. Совокупность всех таких соответствий в ТО представляет собой функциональную структуру в виде ориентированного графа, который отражает системную целостность ТО и соответствие между его функцией и структурой (конструкцией).

Рассмотрим этот закон на примере функционального строения обрабатывающих (технологических) машин. Анализ функций различных ТО позволяет накапливать и формировать базы данных по формализованным описаниям функций элементов ТО и функциональным структурам ТО. Все эти базы данных могут быть эффективно использованы в различных методах поискового проектирования и конструирования, при проведении функционально-стоимостного анализа ТО технологий, построений информационно-поисковых систем для поддержки проектно-конструкторской деятельности.

5.3. Закон стадийного развития техники

В технике революционные изменения связаны с передачей техническим средствам широко распространенных функций, выполняемых человеком. Закон стадийного развития техники отражает революционные изменения происходящие в процессе развития как отдельных классов ТО, так и техники в целом.

Гипотеза о законе имеет на инженерном уровне следующую формулировку. ТО с функцией обработки материального предмета труда имеют четыре стадии развития, связанные с последовательной реализацией с помощью технических средств четырех фундаментальных функций и последовательным исключением из технологического процесса соответствующих функций, выполняемых человеком:

- на первой стадии ТО реализует только функцию обработки предмета труда (технологическая функция);
- на второй стадии, наряду с технологической, ТО реализует еще функцию обеспечения энергией процесса обработки предмета труда (энергетическая функция);
- на третьей стадии ТО реализует еще функцию управления процессом обработки предмета труда;

– на четвертой стадии ТО реализует также и функцию планирования для себя объема и качества продукции, получаемой в результате обработки предмета труда; при этом человек полностью исключается из технологического процесса, кроме более высоких уровней планирования.

Переход к очередной стадии происходит при исчерпании природных возможностей человека в улучшении показателей выполнения соответствующей фундаментальной функции в направлении дальнейшего повышения производительности труда и (или) качества производимой продукции, а также при наличии необходимого научно-технического уровня и социально экономической целесообразности. В таблице 2 приведены примеры стадийного развития различных ТО, которые дополняют формулировку закона. Рассматриваемый закон имеет определенную связь с закономерностью функционального строения обрабатывающих машин.

Таблица 2

Примеры стадийного развития ТО

Функция ТО	ТФ	ТФ + ЭФ	ТФ + ЭФ + ФУ	ТФ+ ЭФ + ФУ + ФП
Размалывание зерна. Получение осесимметричных круглых деталей из твердотельных заготовок. Транспортирование груза по дороге	Каменные жернова с ручным приводом. Токарный станок с рунным или ножным приводом. Тачка или тележка, приводимая в движение человеком	Каменные жернова с приводом от водяного колеса или паровой машины. Токарный станок с приводом от водяного колеса, паровой машины или электродвигателя. Телега, приводимая в движение тягловым животным, или автомобиль	Мельница с системой автоматического управления (САУ). Токарный станок с числовым программным управлением (ЧПУ). Автомобиль с САУ	Мельница с САУ, получающая задания от автоматизированной системы планирования работ (АСПР). Станок с ЧПУ, получающий задания от АСПР. Автомобиль с САУ, получающий задания от бортовой АСПР, осуществляющей предварительный сбор информации

Примечание. ТФ – технологическая функция; ЭФ – энергетическая функция; ФУ – функция управления; ФП – функция планирования.

Закон стадийного развития отражает также развитие мировой техники в целом, что наглядно показано в таблице 3, где обозначение «ТО» указывает на реализацию соответствующей фундаментальной функции техническими средствами.

Таблица 3

Стадии развития техники

Выполняемая функция	Начало стадии			
	Каменный век (первая стадия)	XVIII в. (вторая стадия)	Середина XX в. (третья стадия)	Конец XX в. (четвертая стадия)
Технологическая	ТО	ТО	ТО	ТО
Энергетическая	Человек	»	»	»
Управления	»	Человек	»	»
Планирования	»	»	Человек	»

Следует отметить, что предписываемая законом картина последовательного четырехстадийного развития ТО имеет место только для классов ТО, появившихся до XVIII в. Уже в XIX в., когда техника в целом находилась на второй стадии развития, вновь появившиеся ТО одновременно реализовали технологическую и энергетическую функции, поскольку для этого существовал необходимый научно-технический уровень и это следовало из требований социально-экономической целесообразности. Аналогичную картину мы наблюдаем в настоящее время, когда вновь появляющиеся ТО. Для реализации новых потребностей часто реализуют сразу три фундаментальные функции (технологическую, энергетическую и функцию управления).

ТЕМА 6. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ: МОЗГОВОЙ ШТУРМ, МЕТОД КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ЯЩИК ЦВИККИ, ЭМПАТИЯ, СИНЕКТИКА

6.1. Мозговой штурм

Правильно организованный мозговой штурм включает три обязательных этапа. Этапы отличаются организацией и правилами их проведения:

Постановка проблемы. Предварительный этап. В начале этого этапа проблема должна быть четко сформулирована. Происходит от-

бор участников штурма, определение ведущего и распределение прочих ролей участников в зависимости от поставленной проблемы и выбранного способа проведения штурма.

Генерация идей. Основной этап, от которого во многом зависит успех (см. ниже) всего мозгового штурма. Поэтому очень важно соблюдать правила для этого этапа:

- главное – количество идей. Не делайте никаких ограничений;
- полный запрет на критику и любую (в том числе положительную) оценку высказываемых идей, так как оценка отвлекает от основной задачи и сбивает творческий настрой;
- необычные и даже абсурдные идеи приветствуются;
- комбинируйте и улучшайте любые идеи.

Группировка, отбор и оценка идей. Этот этап часто забывают, но именно он позволяет выделить наиболее ценные идеи и дать окончательный результат мозгового штурма. На этом этапе, в отличие от второго, оценка не ограничивается, а наоборот, приветствуется. Методы анализа и оценки идей могут быть очень разными. Успешность этого этапа напрямую зависит от того, насколько «одинаково» участники понимают критерии отбора и оценки идей.

Эмпатия – способность поставить себя на место другого человека или животного, способность к сопереживанию. Эмпатия также включает способность определить эмоциональное состояние другого человека на основе мимических реакций, поступков, жестов и т. д. Также под эмпатией подразумевается способность чувствовать и ощущать эмоциональное состояние человека, не видя его.

Эмпатия – понимание эмоционального состояния другого человека посредством сопереживания, проникновения в его субъективный мир. Тот или иной уровень эмпатии является профессионально необходимым качеством для всех специалистов, работа которых непосредственно связана с людьми (чиновники, руководители, продавцы, менеджеры персонала, педагоги, психологи, психотерапевты и др.), что, однако, далеко не гарантирует наличия этого качества у перечисленных специалистов.

Синектика (англ. Synectics) – методика психологической активизации творчества, предложенная Гордоном. Является развитием и усовершенствованием метода мозгового штурма. Гордон разработал этот метод решения проблем, когда руководил группой исследования изобретений.

При синектическом штурме допустима критика, которая позволяет развивать и видоизменять высказанные идеи. Этот штурм ведет постоянная группа. Ее члены постепенно привыкают к совместной работе, перестают бояться критики, не обижаются, когда кто-то отвергает их предложения.

В методе мозгового штурма применены четыре вида аналогий – прямая, символическая, фантастическая, личная:

1. При прямой аналогии рассматриваемый объект сравнивается с более или менее похожим аналогичным объектом в природе или технике. Например, для усовершенствования процесса окраски мебели применение прямой аналогии состоит в том, чтобы рассмотреть, как окрашены минералы, цветы, птицы и т. п. или как окрашивают бумагу, киноплёнки и т. п.

2. Символическая аналогия требует в парадоксальной форме сформулировать фразу, буквально в двух словах отражающую суть явления. Например, при решении задачи, связанной с мрамором, найдено словосочетание «радужное постоянство», так как отшлифованный мрамор (кроме белого) – весь в ярких узорах, напоминающих радугу, но все эти узоры постоянны.

3. При фантастической аналогии необходимо представить фантастические средства или персонажи, выполняющие то, что требуется по условиям задачи. Например, хотелось бы, чтобы дорога существовала там, где ее касаются колеса автомобиля.

4. Личная аналогия (эмпатия) позволяет представить себя тем предметом или частью предмета, о котором идет речь в задаче. В примере с окраской мебели можно вообразить себя белой вороной, которая хочет окраситься. Или, если совершенствуется зубчатая передача, то представить себя шестерней, которая крутится вокруг своей оси, подставляя бока соседней шестерне. Нужно в буквальном смысле входить «в образ» этой шестерни, чтобы на себе почувствовать все, что достается ей, и какие она испытывает неудобства или перегрузки. Что дает такое перевоплощение? Оно значительно уменьшает инерцию мышления и позволяет рассматривать задачу с новой точки зрения.

6.2. Метод контрольных вопросов

Метод контрольных вопросов (МКВ) – один из методов психологической активизации творческого процесса. Цель метода – с помощью наводящих вопросов подвести к решению задачи. Списки таких вопросов предлагались многими авторами с 20-х годов.

Суть метода: изобретатель отвечает на вопросы, содержащиеся в списке, рассматривая свою задачу в связи с этими вопросами. В США наибольшее распространение получил список вопросов А. Осборна. В этом списке 9 групп вопросов. Каждая группа вопросов содержит подвопросы. Например, вопрос «Что можно уменьшить?» включает подвопросы: можно ли что-нибудь уплотнить, сжать, сгустить, конденсировать, применить способ минитюаризации, укоротить, сузить, отделить, раздробить?

6.3. Метод морфологического ящика

Несмотря на то, что наиболее серьезные достижения Цвикки относятся к двум рассмотренным выше методам, наибольшую известность получил все же *метод морфологического ящика* (ММЯ), который «узурпировал» общее название о «морфологический анализ», или «морфоанализ». Причины ясны:

а) ММЯ является единственным «алгоритмизированным» методом из набора Цвикки;

б) ММЯ наиболее доступен для понимания обычным инженерам, не «морфологам от рождения».

Впрочем, последняя особенность (в действительности мнимая) сослужила методу плохую службу: бездумное, догматическое применение ММЯ в той же сжатой, «телеграфной» форме, которая дана автором метода, почти неизбежно ведет к отрицательному результату.

Морфологический метод исследования был применен к целому ряду систем. По утверждению Ф. Цвикки, более 70-и крупных промышленных фирм используют его при решении разнообразных научно-технических задач. В результате применения своего метода сам Ф. Цвикки создал серию оригинальных изобретений, в том числе баллистические устройства, оригинальные силовые установки, взрывчатые вещества, способ комбинированной фотографии и т. д.

Сущность анализа заключается в следующем. В совершенствуемой технической системе выделяют несколько характерных для нее структурных или функциональных морфологических признаков. Каждый признак может характеризовать, например, какой-то конструктивный узел системы, какую-то ее функцию, какой-то режим работы системы, т. е. параметры или характеристики системы, от которых зависит решение проблемы и достижение основной цели.

По каждому выделенному морфологическому признаку составляют список его различных конкретных вариантов, альтернатив, технического выражения. Признаки с их альтернативами можно распола-

гать в форме таблицы, называемой морфологическим ящиком, что позволяет лучше представить себе поисковое поле. Перебирая всевозможные сочетания альтернативных вариантов выделенных признаков, можно выявить новые варианты решения задачи, которые при простом переборе могли быть упущены.

Метод предусматривает выполнение работ в пять этапов:

1. Точная формулировка задачи (проблемы), подлежащей решению.

Если первоначально ставится вопрос об одной конкретной системе, метод непосредственно обобщает изыскание на все возможные системы с аналогичной структурой и в итоге дает ответ на более общий вопрос. Например, необходимо изучить морфологический характер всех видов транспортных средств и предложить новую эффективную конструкцию устройства для транспортирования по снегу – снегохода.

2. Составление списка всех морфологических признаков, т. е. всех важных характеристик объекта, его параметров, от которых зависит решение проблемы и достижение основной цели.

Точная формулировка задачи и определение класса изучаемых систем (устройств) позволяют раскрыть основные признаки или параметры, облегчающие поиск новых решений. Применительно к транспортному средству (снегоходу) морфологическими признаками могут быть: А – двигатель, Б – движитель, В – опора кабины, Г – управление, Д – обеспечение заднего хода и т. д.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждому морфологическому признаку (характеристике) путем составления матрицы.

Каждая из n характеристик (параметров, морфологических признаков) обладает определенным числом k_i различных вариантов, независимых свойств, форм конкретного выражения. Например, для снегохода варианты: А₁ – двигатель внутреннего сгорания, А₂ – газовая турбина, А₃ – электродвигатель, А₄ – реактивный двигатель и т. д.; Б₁ – воздушный винт, Б₂ – гусеницы, Б₃ – лыжи, Б₄ – снегомет, Б₅ – шнеки и т. д.; В₁ – опора кабины на снег, В₂ – на двигатель, В₃ – на движитель и т. д. Сочетание одного из возможных вариантов морфологического признака с другими от каждого признака дает одно из возможных технических решений.

Структура технической системы может быть выражена морфологическими признаками (например, в приведенном выше примере – формулой АБВГД...), но сочетание их конкретных вариантов (напри-

мер, $A_1B_2B_1\Gamma_3D_2$) – лишь одно конкретное из множества технических решений, вытекающих из закономерностей строения системы.

Совокупность всех возможных вариантов, каждого из перечисленных морфологических признаков, выраженная в виде матрицы, дает возможность определить полное число решений в этом случае

$$N = \prod_{i=1}^n k_i.$$

Если в приведенном выше примере ограничиться только названными морфологическими признаками, то число возможных вариантов решений будет определяться следующим образом:

$$N = 4 \times 5 \times 3 \times \dots \times \dots$$

Если построить n -мерное пространство (где n – количество морфологических признаков) и на каждой из осей, принадлежащей одному из признаков, отложить все возможные его варианты, то получим «морфологический ящик» (название удачное для трехмерного пространства, т. е. для трех признаков). В каждой его точке, характеризуемой n конкретными координатами, находится одно возможное техническое решение.

Очень важно, чтобы вплоть до данного момента не ставился вопрос о практической осуществимости и ценности того или иного варианта решения. Такая преждевременная оценка всегда наносит ущерб беспристрастному применению морфологического метода. Однако сразу после получения всех возможных решений можно сопоставить их с любой системой принятых критериев.

4. Определение функциональной ценности всех полученных вариантов решений.

Это наиболее ответственный этап метода. Чтобы не запутаться в огромном числе решений и деталей, оценка их характеристик должна проводиться на универсальной и, по возможности, простой основе, хотя это не всегда легкая задача.

Должны быть рассмотрены все N вариантов решений, вытекающих из структуры морфологической таблицы, и проведено их сравнение по одному или нескольким наиболее важным для данной технической системы показателям.

5. Выбор наиболее рациональных конкретных решений.

Нахождение оптимального варианта может осуществляться по лучшему значению наиболее важного показателя технической системы.

Морфологический анализ создает основу для системного мышления в категориях основных структурных признаков, принципов и параметров, что и обеспечивает высокую эффективность его применения. Он является упорядоченным способом исследования, позволяющим добиться систематического обзора всех возможных решений данной крупномасштабной проблемы. Метод строит мышление таким образом, что генерируется новая информация, касающаяся тех комбинаций, которые при бессистемной деятельности воображения ускользают от внимания.

ТЕМА 7. ТЕОРИЯ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ (ТРИЗ)

7.1. Методы активизации поиска новых технических решений

Чем труднее изобретательская задача, тем больше вариантов приходится перебрать, чтобы найти решение. А раз так, то прежде всего надо повысить количество вариантов, выдвигаемых в единицу времени. Понятно также, что для обнаружения сильного решения нужно иметь среди рассматриваемых идей побольше оригинальных, смелых, неожиданных. Цель *методов активизации поиска* и состоит в том, чтобы:

- 1) сделать процесс генерирования идей интенсивнее;
- 2) повысить «концентрацию» оригинальных идей в общем их потоке.

Решая задачу, изобретатель сначала долго перебирает привычные, традиционные варианты, близкие ему по специальности. Иногда ему вообще не удается уйти от таких вариантов. Идеи направлены по «вектору психологической инерции» – в сторону, где меньше всего можно ожидать сильных решений. Психологическая инерция обусловлена самыми различными факторами: тут и боязнь вторгнуться в чужую область, и опасение выдвинуть идею, которая может показаться смешной, и незнание элементарных приемов генерирования «диких» идей. Методы активизации поиска помогают преодолевать эти барьеры.

Методы активизации поиска новых технических решений

Метод (методика)	Автор	Год опубликования
Метод экономического анализа и поэтапно-ментно отработки конструкторских решений	Ю. Соболев	1950
Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)	Г. Альтшуллер	1956
Метод направленного мышления	Н. Серета	1961
Методика семикратного поиска	Г. Буш	1964
Метод психоэвристического программирования (ИПИД)	В. Чавчанидзе и др. В. Шубин	1968
Метод использования библиотеки эвристических приемов	А. Половинкин	1969
Метод системно-логического подхода к решению изобретательских задач	В. Шубин	1972
Метод гирлянд случайностей и ассоциаций	Г. Буш	»
Обобщенный эвристический алгоритм	А. Половинкин и др.	1976
Метод десятичных матриц поиска	Р. Повилейко	»
Метод выявления обобщенных приемов на основе анализа описаний изобретений	М. Зарипов и др.	1978
Вепольный анализ	Г. Альтшуллер	»
Методика анализа свойств и синтеза технических решений (АССТР)	А. Чус	1979
Аксиоматический метод понятий	В. Скоморохов	1980
<i>Германия</i>		
Метод каталога	Ф. Кунце	1926
ГДР		
Метод организующих понятий	Ф. Ханзен	1953
Метод конференции идей	В. Гильде и др.	1970
Систематическая эвристика	И. Мюллер и др.	»
Анализ затрат на основе потребительной стоимости	Х. Эберт, К. Томас	1971
Чехословакия		
Метод комплексного решения проблем	С. Вит	1697
<i>Англия</i>		
Метод фундаментального проектирования	Е. Матчетт	1966
Метод контрольных вопросов	Т. Эйлоарт	1968
Метод функционального изобретательства	К. Джонс	1970

Метод (методика)	Автор	Год опубликования
Метод расчлененного проектирования	»	1972
Метод ликвидации тупиковых ситуаций	»	»
Метод трансформации системы	»	»
<i>США</i>		
Морфологический анализ	Ф. Цвикки	1942
Синектика	В. Гордон	1944
Метод контрольных вопросов	Д. Пойа	1945
Инженерно-стоимостный анализ	Л. Майлз и др.	1947
Метод контрольных вопросов	Р. Кроуфорд	1954
Метод ведомостей характерных признаков	Р. Кроуфорд	»
Метод мозгового штурма	А. Осборн	1957
Метод контрольных вопросов	С. Пирсон, Р. Кроуфорд	»
Метод фокальных объектов	Ч. Вайтинг	1958
Метод анализа затрат и результатов	Ю. Фанге	1959
Метод творческого инженерного конструирования	Г. Буль	1960
Метод контрольных вопросов	А. Осборн	1964
Метод рационального конструирования	Р. Мак-Крори	1966
Метод ступенчатого подхода к решению задач А. Фрейзер	А. Фрейзер	1969
Метод музейного эксперимента	Коллектив авторов	1970
<i>Франция</i>		
Метод «матриц открытия»	А. Моль	1935
Метод «Креатике»	Коллектив авторов	1970
Интегральный метод «Метра»	И. Бувен и др.	1972

7.2. Идеальный конечный результат

Решение математических задач и задач «на сообразительность» часто выполняют методом «от противного». Суть метода заключается в том, что решать задачу начинают с конца. Определяют конечный результат – ответ. Уяснив его, «прокладывают» дорогу к началу, т. е. решают задачу. Заманчиво было бы и решение технических задач осуществлять аналогичным образом. Но как же узнать ответ?

Действительно, при решении технических задач ответ не известен, но можно пойти дальше... Можно представить идеал разрабатываемого устройства – идеальное устройство – идеальный конечный результат (ИКР).

Идеальная техническая система – это система, которой нет, а ее функции выполняются, т. е. цели достигаются без средств.

Идеальный конечный результат – маяк, к которому следует стремиться при решении задачи. ИКР – решение, которое мы хотели бы видеть в своих мечтах, выполняемое фантастическими существами или средствами (волшебная палочка). Например, дорога существует только там, где с ней соприкасаются колеса транспорта. ИКР транспортного средства – когда транспортного средства нет, а груз транспортируется (груз сам передвигается в нужном направлении с необходимой скоростью). Достаточно много технических систем, в названии которых есть слово САМ. Например, самосвал. САМ – значит без непосредственного участия человека. Раньше этому способствовала механизация, теперь автоматизация и кибернетизация, в частности, компьютеризация. Стиральная машина САМА (по программе) выполняет необходимую работу. Компьютер САМ переводит текст, делает мультфильмы или проектирует те или иные объекты.

Идеальное решение, конечно, получить почти невозможно. Идеальный конечный результат – это эталон, к которому следует стремиться. Как раз близость полученного решения к ИКР и определяет качество решения. Сравнивая реальное решение с ИКР, определяем противоречие. Таким образом, ИКР – инструмент, необходимый для выявления противоречия и для оценки качества решения. Следовательно, ИКР служит своего рода «путеводной звездой» при решении технических задач.

7.3. Теория веполей

Простейший веполь состоит из двух элементов-веществ и поля их взаимодействия.

Веполь, т. е. вещество + поле – модель взаимодействия в минимальной системе, в которой используется характерная символика. Одно из базовых понятий в ТРИЗ расширенно определяет вещество и поле:

– «поле» включает в себя не только «естественные» физические поля (электромагнитные, гравитационные, поля слабых и сильных взаимодействий), но и «технические» поля (механическое, инерционное, тепловое, акустическое, лучевое, запаховое) и любое взаимодействие между веществами;

– «вещество» в ТРИЗ – любой элемент, участвующий в задаче.

Вепольный анализ – техника анализа функциональных взаимодействий минимальной системы.

При решении изобретательской задачи чаще всего приходится терпеливо добираться до скрытого в задаче физического противоречия и рассматривать конкретные физические процессы. Но и здесь не всегда удастся напрямую применить знания, даже если известны общие принципы разрешения технических противоречий. Требуются тактические шаги, конкретизирующие действия. Для этого нужен точный анализ взаимодействия веществ и энергий в оперативной зоне задачи.

Известно, что ни одно событие в материальном мире не происходит без видоизменения вещества и энергии (поля). Взаимодействие этих двух составляющих и определяет все многообразие мира. Для изобретателя, который желает, чтобы его труд был результативным, знание этих процессов является необходимым. Но знать и помнить тысячи видов взаимовлияний между собой полей и веществ, а также миллионы их модификаций – задача, невыполнимая даже для суперкомпьютера. Значит, нужны какие-то общие принципы и формализация обращения с ними.

ТЕМА 8. ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Функционально-стоимостный анализ (ФСА) – это метод системного исследования объекта (изделия, процесса, структуры), направленный на повышение эффективности использования материальных и трудовых ресурсов, повышение качества продукции и снижение ее стоимости (затрат).

Главный экономический принцип ФСА – стоимостная оценка функций объекта (см. название), новых решений, альтернативных вариантов, различных технологических и хозяйственных процессов. Другими словами, ФСА – это система управления стоимостью изделий и технологий, эффективный метод решения самых разных, в том числе и инженерных, задач, поиска и реализации резервов.

Основным исходным положением ФСА является то, что в любом объекте имеются скрытые резервы его совершенствования. Откуда они появляются? Понятно, что конструктор, создавая новое изделие, не хочет, чтобы оно было несовершенным, и технолог старается добиться высокого качества продукции, снизить производственные затраты. Причинами появления резервов могут быть: неэффективное

использование научной и технической информации; пренебрежительное отношение конструктора и технолога к экономической стороне дела; неоправданное завышение технических параметров изделий, их узлов и деталей; несогласованность работы конструкторских подразделений, или отсутствие в данный момент необходимого материала, оборудования, что приводит к закреплению в технической документации неоптимального решения на все время выпуска изделия, и т. д. Но, пожалуй, главной причиной наличия ненужных резервов является психологическая инерция специалистов, привычка к однообразному, узкому взгляду на выполняемую работу, технический консерватизм.

Бывают и другие случаи: изделие отлично спроектировано, его технология прогрессивна и хорошо отработана, и резервов повышения эффективности в данный момент нет, но проходит какое-то время, появляются новые материалы, технологии, оборудование, следовательно, появляются резервы для совершенствования объекта.

Стремление повысить качество продукции при одновременном повышении экономических показателей за счет поиска дополнительных резервов тесно связано с изобретательской деятельностью и методами коллективного творчества.

Сущность метода ФСА заключается в том, что анализ совершенствуемого объекта, поиск решений и их первичная экспертиза осуществляются временными рабочими группами (ВРГ), состоящими из работников разных специальностей предприятия. ВРГ – это 8–12 человек, среди них обязательно должны быть: конструктор по данному изделию и технолог, курирующий это изделие в производстве, работники цехов-изготовителей, представители исследовательской и (или) испытательной службы, эксплуатационник, экономист. Полезно включать в группу несколько опытных творческих специалистов, не связанных непосредственно с совершенствуемым объектом.

ВРГ работает под руководством ведущего специалиста по ФСА, владеющего в необходимой мере методологией поиска новых решений (ТРИЗ). Сам ведущий решений не ищет, он в соответствии с методикой ФСА и ТРИЗ направляет поиск, помогает преодолевать психологические барьеры и реализовывать преимущества коллективной работы.

Работа ВРГ может проводиться с полным или частичным (по 4–6 ч) отрывом членов группы от основной работы.

Для принятия решения о внедрении результатов ФСА создают экспертную комиссию, включающую главного конструктора, главного технолога, начальников соответствующих цехов, начальников отделов

материально-технического снабжения, планово-экономического и патентного отделов. Руководит экспертной комиссией, как правило, главный инженер предприятия.

ФСА включает в себя 7 этапов работы: подготовительный, информационный, аналитический, творческий, исследовательский, рекомендательный и этап внедрения.

Эти этапы выделены условно, так как на практике они часто переплетаются. Часто сбор информации начинается еще при подготовке и продолжается в течение всего анализа. Или, например, творческий этап предназначен для поиска решений, но первые идеи появляются еще при сборе информации и анализе объекта. В большинстве случаев приходится возвращаться к поиску и на исследовательском этапе, для того чтобы улучшить, доработать найденные решения.

Подготовительный этап. Он начинается со сбора информации об имеющихся на предприятии трудностях и предложений разных служб в отношении объектов проведения ФСА.

Очень важно правильно выбрать объект, сформулировать цель работы и конкретные задачи: что именно надо получить – снижение трудоемкости, экономию материалов или повышение каких-то технических характеристик.

Основа успеха и эффективность ФСА во многом будет зависеть от состава ВРГ, их творческой отдачи и психологической совместности.

Информационный этап. Данный этап включает подготовку, сбор и систематизацию информации об объекте ФСА и его аналогах. К началу анализа должны быть подготовлены все необходимые чертежи, технологические документы, карты технического уровня подборки патентов и авторских свидетельств по теме анализа.

Когда предварительные работы закончены, вступает в действие ВРГ, которая проводит свои заседания. На этих заседаниях ВРГ знакомится с простейшими методами поиска технических решений (функциональный подход, мозговой штурм), подробно изучается объект ФСА путем расчленения его на функциональные узлы, построения структурных и технологических схем.

Структурная схема отражает связи элементов в системе, их иерархию (система, подсистема, узел, деталь, элемент детали, материал). Удобно строить схему, разбивая объект на узлы и детали с учетом их взаимодействия.

Технологическая схема отражает последовательность операций при изготовлении изделия и дает дополнительную информацию о технологическом процессе.

Аналитический этап. Одним из сложных моментов при проведении ФСА является не само решение общей проблемы, а отсутствие конкретно сформулированной задачи.

Выявить актуальные задачи помогает функциональный подход – анализ функций, выполняемых изделием, его узлами и деталями, их классификация, проверка эффективности выполнения тех или иных функций.

Такой анализ проводят заполнением специальных таблиц – матриц функций, в которых по вертикали записывают функции, выполняемые системой и ее частями, а по горизонтали – наименование частей системы, узлов и деталей. В таблице выделяют главные, основные и вспомогательные функции.

Матрицы позволяют наглядно увидеть функциональную значимость тех или иных элементов системы, их вклад в выполнение изделием своей главной функции. Если имеются различные варианты выполнения одной и той же функции, матрицы позволяют обоснованно сравнить альтернативы. Для определения очередности и направления совершенствования тех или иных узлов и деталей применяют диагностическую таблицу, в которой суммируются разные оценки системы и акцентируется внимание на наиболее важных проблемах.

Отмечается, что сами по себе заполненные таблицы эвристической ценности практически не имеют. Важен сам процесс анализа сопровождающей его дискуссии, а также глубокое проникновение в проблему.

Творческий этап. Он является ключевым для ФСА.

При проведении ФСА возможны три разных типа задач, для решения которых применяют различные методы.

Для решения задач первого типа особых творческих усилий не надо, достаточно иметь здравый смысл и обычные инженерные навыки.

Второй тип задач может быть решен при помощи уже известных методик, например, оптимального проектирования, снижения массы конструкции при сохранении заданной прочности, надежности и т. д.

Задачи третьего типа требуют принципиально нового творческого подхода.

Для решения задач первого и второго типов при проведении ФСА успешно применяют функциональный подход и поэлементный

анализ. Для решения задач третьего типа рекомендуется применять ТРИЗ. Как вспомогательные методы, улучшающие работу ВРГ, и для поиска решения некоторых классов задач могут применяться такие методы, как мозговой штурм, морфологический анализ, метод фокальных объектов и контрольные вопросы.

По мере приближения к окончанию работы все большее внимание уделяют обсуждению, оценке и проверке полученных предложений.

Исследовательский этап. ВРГ рассматривает все предложения, отбирает то, что может быть использовано, дать экономический и какой-то другой положительный эффект. На этом этапе появляются новые идеи, дополняющие ранее предложенные. Также полезно использовать ТРИЗ. Параллельно ведут работу по оформлению рационализаторских предложений, заявок на изобретения.

Рекомендательный этап. Здесь проводят экспертизу предложений и принимают окончательное решение. После экспертизы проводят доработку предложений с учетом замечаний экспертной комиссии, согласовывают и разрабатывают планы-графики внедрения предложений.

Этап внедрения. Результаты работы докладывают на совете ФСА, который принимает решение о включении рекомендаций ФСА в планы организационно-технических мероприятий по повышению эффективности производства, по разработке новой техники, по экономии материалов, трудоемкости и т. д.

Таким образом, ФСА может быть использован при решении следующих задач:

- проектирования новых технологических изделий;
- модернизации уже освоенных в производстве изделий и совершенствование существующих технологий;
- реконструкции и техническое перевооружение предприятий;
- снижении затрат сырья, материалов, топлива, энергии;
- снижения трудоемкости и экономии людских ресурсов.

ТЕМА 9. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИНЖЕНЕРА

9.1. Что такое патент

Разработанный объект как продукт творчества часто можно воспроизводить независимо от автора-разработчика, т. е. промышленно созданная при таких условиях собственность называется промышленной, и защита ее осуществляется в рамках патентного законодательства.

Патент есть документированное государством право на авторство и возможность обладателя документа распоряжаться дальнейшим воспроизведением промышленного товара в течение заданного срока в стране, где этот документ зарегистрирован.

Патент позволяет владельцу фактически монопольно распоряжаться результатами интеллектуальной деятельности. Например, получать прибыль как за счет более быстрого освоения выпуска новых товаров, так и блокируя доступ конкурентов на рынок. Последнее зачастую сдерживает прогресс общества, поэтому некоторые крупные ученые и изобретатели (М. Фарадей, Д. Максвелл, А. Флеминг, Д. И. Менделеев и др.) демонстративно отказывались от патентования своих изобретений и публично раскрывали их суть. Однако монополия патентовладельца сдерживается законодательно на основе гражданского законодательства, специальными статьями в Патентном законе, разрешающими в ряде случаев использовать запатентованный товар без согласия автора, и другими законами, например Законом о недобросовестной конкуренции.

В Патентном законе перечислены действия, нарушающие право патентообладателя на запатентованный товар:

- несанкционированное изготовление;
- ввоз в страну, где права защищены патентом;
- продажа и предложение к продаже;
- введение в хозяйственный оборот;
- хранение с целью последующего получения прибыли.

Иными словами, патентовладелец запрещает любое получение прибыли от использования запатентованного объекта и вправе требовать прекращения нарушения, возмещения ущерба и наказания нарушителя в соответствии даже с Уголовным кодексом. Но вину нарушителя должен доказывать патентовладелец. Следует подчеркнуть, что нарушителем патентных прав является именно получатель прибыли, продавший, но не купивший запатентованный объект.

9.2. Условия патентоспособности

Патентная защита технического решения возможна, если оно удовлетворяет ряду условий («критериев» изобретения). По законодательству патентоспособность изобретений заключается в новизне (приоритет изобретателя в обнародовании найденного решения), изобретательском уровне (уровень творчества, достигнутый изобретателем) и промышленной применимости (определяет рыночные отношения в связи с изобретением).

Новизна. Известно, что новизна технического решения воспринимается по-разному: то что является новым для абитуриента, профессор уже забыл. Поэтому принято определение (ст. 4 ПЗ Республики Беларусь): «Изобретение является новым, если оно не известно из уровня техники, а уровень техники включает в себя любые сведения, ставшие общедоступными в мире до даты подачи заявки (приоритета)». Из этого определения вытекает ряд следствий. Прежде всего, заявка на изобретение не является новой, если кем-то за день или за час до нее подана аналогичная заявка, т. е. кто-то уже выставил свои материалы на всеобщее обозрение. Но экспертиза не может противопоставить заявке технический отчет, находящийся в закрытом, а не общедоступном архиве фирмы, – значит, в заявке имеется новизна. Но если этот отчет лежит в открытом доступе библиотеки и его может посмотреть любой читатель, то новизны нет. В то же время заявке можно противопоставить книгу, выдаваемую по первому требованию студента в библиотеке Калифорнийского университета, даже если этой книги нет в Беларуси. Правда, в таком случае заявителю не обязательно брать билет до Сан-Франциско – он вправе потребовать, чтобы противопоставленный источник был ему показан. Возможна коррекция срока подачи заявки в связи с желанием заявителя что-то подправить и дополнить в ее материалах до начала экспертизы заявки по существу. Подобные ситуации рассмотрены в ст. 19 ПЗ Республики Беларусь.

Прежде всего, уровень техники определяется источниками информации, которые могут стать известны изобретателю законным путем: патенты – с даты опубликования, печатные издания – с даты подписания в печать, депонированные рукописи – с даты депонирования, отчеты о НИР и ОКР – с даты поступления в органы информации, материалы диссертаций – с даты поступления их в библиотеку учреждения, где будет или была защита, экспонаты на выставке – с даты показа, сообщения по радио или телевидению – с даты опубликования, устные доклады – с даты доклада (сравнение проводят по тексту, официально зарегистрированному в стенограмме, на магнитной пленке и т. д.). Существенно, что уровень техники определяется конкретно, т. е. применительно к совокупности всех признаков, включенных в формулу изобретения. То есть совокупность признаков нового объекта сравнивают с совокупностью признаков другого объекта, но не с совокупностью признаков, присущих разным объектам. Иными словами, сборный прототип недопустим! На критерий новизны экспертизой исследуются только независимые пункты формулы

изобретения. Зависимые пункты уже удовлетворяют условиям новизны, поскольку содержат в себе условия, проанализированные для независимого пункта.

Изобретательский уровень. Определяя изобретательский уровень, экспертиза отвечает на вопрос: «А почему это нельзя было сделать раньше?». Это условие изобретения обязательно присутствует в законодательствах разных стран, различаясь лишь в нюансах. В Законе Российской империи от 1896 г. этот критерий назывался «оригинальность», в Законе СССР – «существенные отличия» (до 80 % отказов, выносимых Государственной экспертизой СССР изобретателям, было по этому критерию), в США он называется «inventive step» – изобретательский шаг, так сказать, «момент прозрения». В ст. 4 ПЗ Республики Беларусь изложено: «Изобретение имеет изобретательский уровень, если оно для специалиста явным образом не следует из уровня техники». Из этого определения вытекает ряд принципиальных следствий. Кроме того, специалисты бывают разные, например, ас-технолог с большим стажем работы и начинающий инженер. Поэтому для определенности под специалистом понимают «среднего специалиста» – не новичка, но и не аса. Так, средний специалист может разобраться в технологической документации и чертежах конструкции, пользуясь общедоступной литературой (учебником). Средний специалист – это «лицо, обладающее обычными познаниями в области, к которой относится указанный предмет» [1].

ТЕМА 10. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИНАХ

Осуществление отдельных этапов математического моделирования требует разных знаний, навыков и практической подготовки. Этап постановки задачи и выбора расчетной схемы (РС) применительно к моделированию технических объектов (ТО) типичен для ампула инженера. Этап формализованного описания ТО, т. е. формирования математической модели (ММ) предполагают наличие серьезной математической подготовки. Этап анализа сформированной ММ на ПЭВМ связан с навыками в разработке и отладке ЭВМ-программ. Поэтому к математическому моделированию сложных ТО приходится привлекать и инженеров, и математиков, и программистов. Однако для координации их усилий необходимы специалисты, способные осуществить каждый из рассмотренных этапов на высоком профессиональном уровне.

Подготовка таких специалистов составляет одну из ключевых проблем, от успешного решения которой зависит эффективное использование возможностей математического моделирования при создании технических устройств и их систем.

Успех в решении указанной проблемы в значительной степени зависит от укрепления междисциплинарных связей между курсами высшей математики, физики, теоретической механики, информатики и инженерными дисциплинами. Связующим звеном при этом могут быть ММ явлений и процессов, являющихся предметом изучения в дисциплинах естественнонаучного цикла и лежащих в основе функционирования ТО в конкретных областях техники. Эта связь может обеспечить методическое единство и преемственность циклов математической, естественнонаучной и специальной подготовки будущего инженера.

Такие инженерные дисциплины, как прикладная механика, гидравлика, электротехника, электроника и некоторые другие, можно с определенных позиций рассматривать как упорядоченное множество РС и ММ соответствующих ТО. Прежде всего, в инженерных дисциплинах изучают РС и ММ так называемых типовых элементов, часто встречающихся в данной отрасли техники. Например, в электротехнике роль простейших типовых элементов играют пассивные электрические двухполюсники: резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности. Но даже каждому из таких простых элементов в зависимости от условий его работы соответствуют несколько РС, и поэтому говорят об иерархии ММ.

В электротехнике и электронике, по существу, сформирован так называемый банк РС и ММ типовых элементов, что в сочетании с принятой системой наглядного графического представления связей между этими элементами позволяет строить ММ достаточно сложных устройств. Аналогичная ситуация существует в инженерных дисциплинах, предметом изучения которых являются механические, тепловые, пневмогидравлические системы и разнородные системы, в которых одновременно протекают процессы различной физической природы. Так, в механике материалов банк РС построен с учетом формы типовых элементов на основе принятых предположений (гипотез) о распределении перемещений или механических напряжений в этих элементах. Причем каждой РС (стержню, балке, пластине, оболочке) соответствует ММ, область применения которой ограничена принятыми гипотезами.

Следует отметить определяющую роль гипотез при формировании РС типовых элементов. При этом целесообразно отдавать предпочтение более простым гипотезам по сравнению с искусственными и обычно трудно проверяемыми. Если простая гипотеза верна, то ее обычно легко аргументировать и подтвердить экспериментально. Если же она вызывает сомнение, то ее нетрудно опровергнуть либо на основе контрпримеров и непосредственных наблюдений, либо исходя из соответствующим образом поставленных экспериментов, либо при получении противоречивых результатов уже на стадии количественного анализа ММ, построенной с использованием этой гипотезы. Однако принятие простой гипотезы не всегда равносильно построению простых РС и ММ изучаемого ТО.

Остановимся на особенностях построения ММ в инженерных дисциплинах. Математик-теоретик обычно выбирает для исследования уже построенную ММ, т. е. начинает работу с формулировки математической задачи и затем уже не подвергает сомнению эту формулировку, а лишь обосновывает свои преобразования и этапы решения задачи. При этом в некоторых случаях полученные результаты удается применить непосредственно к конкретному ТО. Но в технике ни одну достаточно сложную задачу нельзя поставить таким образом. Любое формулирование технической задачи является условным. Если некоторое следствие формулировки такой задачи неверно или неприемлемо, то задачу приходится переформулировать, т. к. любая последовательность математических символов, записанных при построении ММ, является в действительности последовательностью утверждений содержательного характера, связанных с конкретным исследуемым ТО. Поэтому при математическом моделировании ТО необходимо учитывать как математическую, так и содержательную сторону задачи, связывая одну с другой. Забвение относительного соответствия ММ реальному ТО может привести к ошибкам, связанным с приписыванием ТО свойств его ММ.

Отмеченные особенности дают повод для того, чтобы еще раз подчеркнуть важность умения согласовывать этап формирования РС с этапом построения ММ изучаемого ТО. Это умение обычно складывается у студентов при выполнении междисциплинарных курсовых работ (проектов), при самостоятельном решении прикладных математических задач, имеющих конкретное техническое содержание. Для формирования таких навыков необходимы специальные учебные пособия, в которых на примерах ТО, изучаемых в инженерных

дисциплинах, была бы детально и аргументировано раскрыта взаимная связь рассматриваемых этапов. В качестве примера такого пособия можно назвать выдержавшую пять изданий книгу В. И. Феодосьева «Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов», содержание и методическое значение которой для углубленного понимания особенностей математического моделирования ТО существенно шире ее названия.

Акцент на взаимной связи этапов формирования РС и построения ММ исследуемого ТО не противоречит, а дополняет совершенствование триады «модель – алгоритм расчета – программа» и ее внедрение в современные информационные технологии. В этой триаде основное внимание уделено проблемам анализа построенных ММ методам вычислительной математики при помощи средств вычислительной техники. Следует подчеркнуть, что изолирование этапов, связанных с построением ММ или разработкой алгоритмов и пакетов программ, как и обучение, выполнение этих этапов по отдельности, не достаточно для эффективного использования преимуществ математического моделирования. Наличие современных ЭВМ само по себе еще не решает проблему. Необходимо «интеллектуальное ядро» вычислительной техники, которым является ее математическое обеспечение, составляющее, по оценкам, не менее 80 % общей стоимости разработки информационных технологий.

Удобства, предоставляемые программным обеспечением современных ЭВМ их пользователям, часто приводят к стремлению обратиться при количественном анализе ММ к существующим и постоянно совершенствуемым универсальным пакетам типа MathCAD, Matlab и т. п. Более того, универсальность ММ и формирование банков типовых ММ позволяют создавать программные комплексы типа NASTRAN или ANSYS, в которые исходная информация вводится даже не в виде ММ, а в виде РС изучаемого ТО.

Однако метод, который годится для решения многих стандартных задач, часто не является наилучшим при решении конкретной задачи, особенно нестандартной, а нередко и вообще не применим. Но в инженерной практике проектирования сельскохозяйственных машин решать приходится в основном нестандартные задачи, потому что стандартные почти все решены или могут быть решены без особых творческих усилий. При решении новых и сложных задач, не имеющих близких аналогов, путь формального обращения к универсальным пакетам и программным комплексам может привести к по-

лучению результатов, которые не удастся интерпретировать применительно к рассматриваемому ТО. В таких случаях анализ ММ нужно строить на умелом сочетании качественных оценок, аналитических методов и применения ЭВМ, помня, что цель расчетов – не числа, а понимание.

ТЕМА 11. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Параметрический синтез заключается в определении числовых значений параметров элементов при заданных структуре и условиях работоспособности, влияющих на выходные параметры объекта. При параметрическом синтезе нужно найти точку (область) в пространстве внутренних параметров, в которых выполняются те или иные условия.

Синтез ТО называется оптимизацией, если определяются наилучшие в заданном смысле структура ТО и значения его параметров. При расчетах оптимальных значений параметров при заданной структуре говорят о параметрической оптимизации. Задачу выбора оптимальной структуры называют структурной оптимизацией.

Постановка задачи оптимизации имеет содержательный смысл только в том случае, когда появляется необходимость выбора одного из конкурирующих вариантов, полученных при ограниченных ресурсах. Окончательный выбор ТО (принятие решения) необходимо проводить с учетом правил предпочтения и на основании установленных критериев. Выбор критерия является одним из важных этапов постановки задачи оптимизации, т. к. все последующие действия направлены на поиск варианта, наиболее близкого к оптимальному по выбранному критерию.

В основе построения правила предпочтения лежит целевая функция (ЦФ), количественно выражающая качество объекта и поэтому называемая также функцией качества, или критерием оптимальности. ЦФ всегда формируется с учетом различных выходных параметров ТО. В зависимости от содержательного смысла этих параметров и выбранного способа их сочетания в ЦФ качество объекта будет тем выше, чем больше ее значение (максимизация) или чем меньше ее значение (минимизация).

Выбор ЦФ носит субъективный характер, и поэтому объект может быть оптимален только в смысле данного критерия.

В большинстве подходов к оценке ТО принято ориентироваться на эталонные образцы, на экспертные оценки или на технико-экономические показатели, определяемые техническим заданием (ТЗ)

на проектирование. При подготовке ТЗ обычно учитываются достижения мировой практики, а также экспертные оценки, более объективной следует считать ориентацию на ТЗ. Наиболее полная оценка проектных решений выполняется на основе анализа технико-экономических показателей с учетом требований ТЗ.

Качество функционирования любой системы характеризуется вектором выходных параметров $\vec{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$. Некоторые из выходных параметров могут быть измерены количественно, другие представляют собой качественную сторону объекта, поэтому все выходные параметры обычно делят соответственно на количественные и качественные. В дальнейшем под вектором \vec{Y} будем подразумевать вектор количественных параметров.

К выходным параметрам, определяющим качество трактора, можно отнести тяговые и скоростные характеристики, показатели разгонной и тормозной динамики, управляемости и устойчивости, комфортабельности, расход топлива, количественный и качественный состав загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу с выхлопными газами, и др.

Значение ЦФ может возрастать или убывать с увеличением качества выходного параметра, поэтому в первом случае необходимо искать максимум, а во втором – минимум ЦФ.

Каждый из составляющих вектора \vec{Y} выходных параметров зависит от множества внутренних параметров проектируемого объекта. Следует отметить, что значения некоторых внутренних параметров назначаются и не подлежат изменению. К таким параметрам, например, можно отнести параметры унифицированных элементов, значения которых оговорены в ТЗ на проектирование. Остальные параметры можно выбрать, ориентируясь на прототипы с учетом собственного опыта и оценки возможных перспектив развития конструкций подобных объектов.

Внутренние параметры, значения которых могут меняться в процессе оптимизации и которые являются аргументами ЦФ, называют управляемыми параметрами.

Пусть в проектируемом объекте имеется n управляемых параметров, образующих вектор $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Обозначим ЦФ через $F(X)$, а область ее определения – через XP . Вектор \vec{X} определяет координаты точки в области определения XP . Если элементы вектора \vec{X} принимают только дискретные значения, XP является дискретным множеством точек и задача оптимизации относится к области дискретного (в частном случае, целочисленного) программирования.

Большинство задач параметрической оптимизации ТО формулируется в терминах непрерывных параметров. Если экстремум целевой функции ищется в неограниченной области XP , его называют безусловным, а методы поиска – методами безусловной оптимизации. Если экстремум целевой функции ищется в ограниченной области XP , его называют условным. Для решения задач проектирования в машиностроении характерны методы условной оптимизации.

Таким образом, задачу поиска оптимального решения можно в общем случае сформулировать следующим образом:

$$\text{extr}F(\vec{X}), \vec{X} \in XP,$$

где \vec{X} – вектор управляемых параметров; $F(\vec{X})$ – целевая функция; XP – область допустимых значений вектора управляемых параметров.

Постановка задачи оптимизации. Основная проблема постановки задачи оптимизации заключается в выборе ЦФ. Сложность выбора ЦФ состоит в том, что любой ТО первоначально имеет векторный характер критериев оптимальности (многокритериальность), причем улучшение одного из выходных параметров, как правило, приводит к ухудшению другого, так как все выходные параметры являются функциями одних и тех же управляемых параметров и не могут изменяться независимо друг от друга. Такие выходные параметры называют конфликтными.

ЦФ должна быть одна (принцип однозначности). Сведение многокритериальной задачи к однокритериальной называют сверткой векторного критерия. Задача поиска его экстремума сводится к задаче математического программирования.

В зависимости от того, каким образом выбирают и объединяются выходные параметры в скалярной функции качества, различают частные, аддитивные, мультипликативные, минимаксные, статистические критерии и т. д. Частные критерии могут применяться в случаях, когда среди выходных параметров можно выделить один основной параметр $y_i(\vec{X})$, наиболее полно отражающий эффективность проектируемого объекта; этот параметр принимают за ЦФ. Различные группы и категории транспортных и тяговых средств очень сильно отличаются по назначению (например, тракторы, грузовые автомобили и самоходные комбайны), поэтому для них в качестве выходных параметров, применимых как целевая функция, могут быть грузоподъемность, производительность, расход топлива, динамические качества, и многие другие. Условия работоспособности объекта по всем

остальным выходным параметрам относят при этом к функциональным ограничениям. Оптимизация на основе такой постановки называется *оптимизацией по частному критерию*.

Достоинство такого подхода – его простота, а существенный недостаток заключается в том, что возможно получить высокое качество объекта только по тому параметру, который принят в качестве ЦФ, в то время как остальные выходные параметры будут только приемлемыми.

Выбирается один, наиболее значимый выходной параметр и проводится его оптимизация. Затем берут следующий по значимости параметр и проводят его оптимизацию при условии, что значения управляемых параметров входят в выражение, как для первого, так и для второго выходных параметров. Остальные составляющие должны быть зафиксированы на уровне, достигнутом при оптимизации первого параметра. Далее по такому же принципу можно оптимизировать и все остальные выходные параметры. Однако это возможно только в тех случаях, когда выходные параметры зависят хотя бы частично от различных наборов управляемых параметров, что на практике бывает далеко не всегда.

Взвешенный аддитивный критерий применяют тогда, когда условия работоспособности позволяют выделить две группы выходных параметров. В первую группу входят выходные параметры $y_i^+(\vec{X})$, значения которых в процессе оптимизации нужно увеличивать (производительность, вероятность безотказной работы, для транспортных средств – грузоподъемность, максимальная скорость и т. п.), во вторую – выходные параметры $y_i^-(\vec{X})$, значения которых следует уменьшать (расход топлива, масса транспортного средства, время разгона и др.).

В этом случае целевая функция свертки будет иметь вид:

$$F(\vec{X}) = \sum_{i=1}^k [\lambda_i y_i^-(\vec{X}) - y_i^+(\vec{X})], \quad (1)$$

где $\lambda_i > 0$ – весовой коэффициент, определяющий степень важности i -го выходного параметра (обычно значения λ_i выбираются проектировщиком и в процессе оптимизации остаются постоянными).

Объединение нескольких выходных параметров, имеющих в общем случае различную физическую размерность и величину, в одной скалярной ЦФ требует предварительного нормирования этих параметров. Способы нормирования параметров могут быть различны. Наибо-

лее простым является отнесение этого параметра к некоторой заранее заданной средней величине, определяемой из опыта предыдущего проектирования, или к допустимой величине (например, допустимые напряжения). В этом случае все составляющие выражения (1) будут безразмерными величинами одного порядка, что делает удобным манипулирование коэффициентами λ_i в процессе проектирования.

Наиболее типичным случаем параметрической оптимизации ТО является поиск значений вектора управляемых параметров \vec{X} , определяющих экстремум ЦФ при наличии ограничений. Для дальнейшего изложения будем считать, что в процессе оптимизации ищется минимум ЦФ. Таким образом, задачу в общем случае можно сформулировать следующим образом:

$$\min F(\vec{X}). \quad (2)$$

Здесь $\vec{X} \in XP$ при прямых ограничениях $x_{н_i} \leq x \leq x_{в_i}$ для любого $i \in [1, n]$, где $x_{н_i}, x_{в_i}$ – минимально и максимально допустимые значения i -го управляемого параметра; n – размерность пространства управляемых параметров.

Функциональные ограничения, как правило, представляют собой условия работоспособности для выходных параметров, не вошедших в ЦФ, и могут быть: типа равенств $\psi(\vec{X}) = 0$ и (или) типа неравенств $\varphi(\vec{X}) > 0$, где $\psi(\vec{X})$ и $\varphi(\vec{X})$ – вектор функции.

Выбор метода решения зависит от способа постановки задачи оптимизации. Любая из точек $\vec{X} \in XP$ является допустимым решением задачи. Часто параметрический синтез ставится как задача определения любого из допустимых решений. Однако гораздо важнее решить задачу оптимизации – найти оптимальное решение среди допустимых.

ТЕМА 12. ПОНЯТИЕ О ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ

Под жизненным циклом сельскохозяйственной машины понимается время (и соответствующие ему действия), которое проходит от постановки четкой задачи создания этой сельскохозяйственной машины (сеялки, культиватора и др.) до ее полного физического или морального износа и утилизации.

В полный жизненный цикл сельскохозяйственной машины входят следующие этапы:

- маркетинг и разработка технического задания на новую сельскохозяйственную машину;
- разработка конструкторской документации, изготовление и испытания макетного образца и опытной серии (конструкторская подготовка производства);
- разработка технологической документации. Изготовление, приобретение, установка и отладка необходимого оборудования (технологическая подготовка производства);
- производство сельскохозяйственной машины. Именно на этом этапе идеи, воплощенные конструктором в чертежи, реализуются по сценарию и с помощью методов, определенных технологом;
- обращение (складирование, подготовка к перевозке, доставка потребителю, хранение и т. п.);
- эксплуатация (использование сельскохозяйственных машин в соответствии с инструкцией по эксплуатации, обслуживание и ремонт);
- утилизация (разборка, сортировка, повторное использование и переработка).

Сама идея создания того или иного изделия возникает из потребности отдельного человека или общества в целом. Потребности человека меняются и растут с развитием общества, науки, культуры, техники, поэтому постоянно появляются и идеи по их удовлетворению. Но идею нужно еще уметь воплотить в жизнь. Создание новой машины начинается с предпроектных исследований, в ходе которых конструктор обосновывает технико-экономическую целесообразность проекта. Чтобы спроектировать новую модель кормоуборочного комбайна, нужно как минимум знать его назначение, перечень убираемых сельскохозяйственных культур, ширину захвата адаптера, пропускную способность комбайна, диапазон длины резки растительной массы, рабочую скорость, характеристику условий эксплуатации и т. д., т. е. иметь технические требования или техническое задание, в которых определяются исходные данные для проектирования, включая необходимое число машин, т. е. тип производства. Следовательно, уже на этой стадии ТЗ формируются основные задачи конструирования и технологии его изготовления. С момента утверждения технических требований (или технического задания) и начинается жизненный цикл машины (ЖЦМ). Далее начинается основная работа конструкторов по проектированию сельскохозяйственной машины (разработка

технического предложения, технических условий, эскизного проекта, технического и рабочего проектов, создание макетного и опытных образцов, их испытания и доводка). При этом вся конструкторская документация согласуется с технологами, особенно в части оригинальных, не изготавливавшихся ранее узлов и деталей. Поэтому конструктор должен хорошо представлять и существующие на данном предприятии технологические возможности, и новейшие достижения в этой области. Новые конструктивные решения не всегда можно реализовать имеющимися на предприятии методами, и конструктор должен видеть пути решения и этой проблемы.

На базе проекта (разработанных конструктором чертежей, технических требований и т. д.) сельскохозяйственной машины ведется технологическая подготовка производства – разрабатывается технологическая документация, приобретается, проектируется, изготавливается и устанавливается необходимое оборудование, инструмент и оснастка, заказываются необходимые материалы и полуфабрикаты, а также размещаются заказы на изготовление покупных составляющих и т. д.

Только после завершения этого подготовительного этапа начинается производство деталей, узлов и систем сельскохозяйственной машины, ее сборка, регулировка, контрольные испытания. Именно после начала серийного изготовления можно сказать, что «родилась» новая сельскохозяйственная машина, но ее самостоятельная «жизнь» еще не началась. Сельскохозяйственную машину еще нужно подготовить к доставке на место хранения, она еще какое-то время пробудет на площадке (в хранилище) готовой продукции. Сельскохозяйственную машину еще нужно доставить к продавцу (железнодорожным, автомобильным или водным транспортом, возможно и своим ходом), она еще и там постоит на складе. Ее еще должны подготовить к продаже – расконсервировать, подрегулировать, при необходимости доукомплектовать, обкатать, помыть – привести в полную готовность к самостоятельной «жизни» у потребителя. Этот путь (после выпуска машины на заводе-изготовителе до начала эксплуатации) называется обращением. В Беларуси эту задачу решают предприятия республиканского агросервиса. На стадии проектирования об этом этапе следует помнить. Ведь сельскохозяйственную машину при погрузке на железнодорожную платформу, плавсредство или морское судно нужно поднимать, закреплять, а для этого необходимо предусмотреть удобные и надежные устройства, а также продумать всю технологию погрузки, перевозки и хранения.

После прохождения пути от изготовителя до потребителя начинается этап эксплуатации. Машина начинает выполнять свое прямое назначение и проявлять все свои лучшие (и худшие) потребительские качества и служебные свойства. И если она не удобна при использовании, техническом обслуживании и ремонте, значит конструктор не нашел рационального решения.

Наконец, сельскохозяйственная машина выработала свой ресурс, не подлежит ремонту и снимается с эксплуатации, но ее жизненный цикл на этом еще не заканчивается. Предстоит этап утилизации. Если учесть, что ежегодно в мире десятки миллионов сельскохозяйственных машин, тракторов и транспортных средств требуют утилизации (в Беларуси эта цифра превышает 35–45 тыс., по России составляет около 1,5 млн, а в США на порядок больше), то становится понятной забота экологов о создании жесткой системы переработки отслуживших транспортных средств. Так, комиссия Европейского союза по охране природы рекомендует возвращать автомобили, выработавшие свой срок, на предприятие-изготовитель для разборки и переработки. Создаются также специальные предприятия для переработки старых автомобилей. При оценке показателей экологической безопасности автомобиля учитывается его приспособленность к утилизации. В частности, оценивается время, необходимое для осушения автомобиля (освобождения его от остатков топлива, масел, охлаждающей жидкости и т. п.) и демонтажа его отдельных узлов и деталей, что напрямую влияет на эффективность утилизации. Поэтому при создании сельскохозяйственной машины конструктор должен учитывать также эти факторы.

Итак, жизненный цикл машины считается законченным только после его полной и экологически безопасной утилизации.

Поскольку полный ЖЦМ не ограничивается ее производством и эксплуатацией, для каждого его этапа необходима информация о сельскохозяйственной машине (конструкторская и технологическая документация, инструкция по эксплуатации, инструкции по разборке и сортировке узлов и деталей для их переработки и др.). При этом информация может относиться как к конкретному этапу в отдельности, так и быть общей, повторяющейся на нескольких или даже на всех этапах. Возможно, что часть информации о сельскохозяйственной машине может потребоваться на каком-то этапе его жизненного цикла лишь в отдельных случаях – например, на этапе утилизации может потребоваться уточнение марки материала какой-то детали для

ее оптимальной переработки. Все вышеперечисленные сведения изначально имеются в конструкторской документации, она и может быть затребована.

Конечно, использовать всю эту информацию удобнее всего, если она хранится в электронном виде и хорошо структурирована. Именно поэтому сейчас в мире широко разрабатываются и внедряются *CALS*-технологии (*Computer Acquisition and Life-cycle Support*), призванные обеспечивать двустороннюю связь между фирмой, реализовавшей сельскохозяйственную машину, и покупателем (потребителем). *CALS*-технология – это единообразно представленная в электронном виде информация о конструкции изделия, технологии его изготовления и технологической оснастке, об особенностях эксплуатации, обслуживания, ремонта и о безопасной для общества и природы утилизации – переработке, захоронении и т. д.

Таким образом, в соответствии с *CALS*-технологией полный ЖЦМ должен иметь электронную информационную поддержку на каждом этапе – от разработки технического задания до полной утилизации.

ТЕМА 13. ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЦЕССА ПРЕКТИРОВАНИЯ

Надежность – это один из основных показателей качества сельскохозяйственных машин, проявляющийся во времени и отражающий изменения, происходящие в машине на протяжении всего времени ее эксплуатации. Надежность должна рассчитываться уже на ранних стадиях проектирования так же, как это делается для оценки прочности, деформации, тепловых полей и других характеристик деталей.

Статистика отказов, являющаяся до настоящего основным источником информации для суждения о надежности узлов и агрегатов сельскохозяйственной машины, это лишь сигнал, дающий представление о том, насколько конструкция, технология и условия эксплуатации обеспечили желаемые показатели надежности. Поэтому не статистические данные (полученные с запозданием), а расчет и прогнозирование возможного поведения машины в предполагаемых условиях эксплуатации. Технологическое обеспечение заданных показателей качества и регламентация эксплуатации сельскохозяйственных машин являются основой для управления надежностью и обеспечения ее требуемого уровня.

Наука о надежности техники изучает закономерности изменения показателей работоспособности объектов с течением времени, а также физическую природу отказов. На этом основании разрабатываются методы, с наименьшей затратой времени и средств обеспечивающие необходимую безотказность и долговечность работы объектов.

Проблема надежности техники – комплексная проблема, состоящая из связи многих этапов, четко из которых выделяются следующие:

1. Утверждение идеи, проектирование и расчет объекта определенной надежности, которая на этой стадии зависит от качества проведенных исследований и конструкторских расчетов. Это самый ответственный этап, т. к. ошибка в один рубль при выборе принятого решения (конструкции сборочных единиц и сопряжений, применяемых материалов, способов защиты их от вредных воздействий, системы технического обслуживания и ремонт и др.) повлечет за собой убытки и тысячи рублей на этапе эксплуатации.

2. Производство объекта. Надежность его на этом этапе в первую очередь зависит от качества материала деталей и точности их изготовления, от качества сборки и обкатки, от других составляющих технологического процесса. Ошибка в осуществлении технологии в один рубль на данном этапе обернется в сотни рублей на этапе эксплуатации. Следует заметить, что на большинстве предприятий не проводится полная обкатка и испытание объектов продукции. Вся сложная сельскохозяйственная техника требует полевой обкатки (доводки). Такая практика должна быть устранена, для чего необходимо повсеместно внедрять ускоренные испытания как новой, так и отремонтированной техники.

3. Эксплуатация объекта. На этом этапе реализуется и поддерживается надежность, заложенная при расчете и обеспеченная при изготовлении. До настоящего времени рассматривали цепочку «человек–машина–среда», которая описывала процесс эксплуатации, обслуживания и ремонта. Необходимо добавить и социальный фактор (условия труда и быта, заработная плата, участие оператора в жизни коллектива и др.), который в ряде случаев может быть определяющим.

Итак, расчет возможного поведения машин в предполагаемых условиях эксплуатации, технологического обеспечения качества и регламентация условий использования машин – основная схема системы управления оптимальной надежностью. Рассчитывать, изготавливать и эксплуатировать долговечную технику – основное содержание науки о надежности.

Специфические особенности надежности следующие: все этапы создания и использования объектов влияют на требуемую надежность; процессы изменения функциональных параметров объектов случайны; физические закономерности, определяющие изменения характеристик объектов, разнообразны и сложны; во всех закономерностях обязателен фактор времени.

Теоретические основы науки о надежности техники базируются на отдельных разделах фундаментальных наук.

1. Математические методы в теории надежности с самого начала были положены в основу этой науки и получили достаточно широкую разработку. Это прежде всего применение теории вероятностей и математической статистики как для установления закономерностей возникновения отказов, так и, главным образом, для изучения механо-физико-химических процессов, которые изменяют свойства, приводящие к разрушению деталей машин, а также для расчета поведения объекта в процессе эксплуатации, т. е. прогнозирования. Развитие математических методов для разработки теоретической базы надежности необходимо, но этого не достаточно.

2. Теория симметрии нашла свое отражение в науке о надежности. По определению Германа Вейля: «Симметрия является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство». «Понятие о симметрии одно из наиболее обобщающих фундаментальных понятий физики и естествознания в целом...» – так определяет значение этой теории академик Б. К. Вайнштейн. Теория симметрии – фундаментальное учение и объяснение зависимости между происхождением и строением, с одной стороны, и свойствами материалов, применяемых для изготовления деталей машин, с другой стороны.

3. Теория надежности базируется так же на учении об объемной и поверхностной прочности материалов деталей машин. И если расчеты деталей машин на объемную прочность не представляют особой сложности, то расчет долговечности деталей с учетом поверхностной прочности или износостойкости представляет большую трудность. Поэтому изучение и установление закономерностей различных видов изнашивания – ключ к резкому повышению надежности техники. Где и когда будет установлена зависимость износа (I) от строения материала CM , т. е. $I = f(CM)$, там и тогда появится реальная возможность инженерного расчета машин на надежность. Износ – структурно-чувствительный фактор.

4. Широко используются в теоретических основах надежности достижения таких наук, как физика твердого тела, химия, металлофизика, кристаллофизика, кристаллохимия, физическая химия, химическая физика, кристаллография и другие, которые служат теоретической основой современного материаловедения. Без глубоких знаний природы и строения (структуры) материала, причин его разрушения в различных условиях (усталость, износ, коррозия и др.), без основ управления формированием необходимых свойств невозможно создать способы получения практических безыносных поверхностных слоев деталей, а также принципиально новых материалов.

Без установления зависимостей и математического описания изменений начальных свойств материала деталей в процессе эксплуатации невозможно решать коренную задачу надежности – изменение долговечности, безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости объекта (машины), т. е. изменение основных показателей надежности, и разработать методы создания прочных материалов.

ТЕМА 14. ИСПЫТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ИХ РОЛЬ В ДОВОДКЕ МАШИНЫ

Испытания машин, а следовательно, их узлов и деталей – мощное средство технического прогресса в машиностроении.

Знания в области физики твердого тела не позволяют теоретически рассчитывать прочность, не пользуясь экспериментальными характеристиками материалов. Современные детали машин, как правило, сложны по форме и не всегда подходят под определения бруса, пластинки или оболочки, расчеты для которых достаточно точно можно выполнить, применяя методы сопротивления материалов. Детали подвергаются сложным переменным и, как правило, нестационарным напряженным состояниям, работают в коррозионной среде и т. д.

Точные решения температурных задач для деталей машин имеют еще ограниченное применение, т. к. эти задачи описываются сложными уравнениями, аналогичными уравнениям теории упругости.

Для обеспечения длительной износостойкости трущиеся поверхности деталей машин должны быть разделены слоем смазки. Однако классические решения задач гидродинамической теории смазки, по которым обычно рассчитывают трущиеся пары на жидкостное трение, оказываются в ряде случаев неудовлетворительными, так как они не учитывают технологические погрешности и упругие деформации деталей, переменность температуры и вязкости масла по поверх-

ности трения и т. д. Недостаточно изучены гидродинамика смазки реальных поверхностей с неровностями, работа тонких слоев смазки во взаимодействии с материалом трущихся деталей и т. д. Теория износа еще не позволяет оценивать долговечность деталей с необходимой точностью с учетом реальных условий эксплуатации.

Поэтому теоретические расчеты деталей машин, представляющие собой распространение на натурные детали результатов испытаний на образцах, являются недостаточными, и все большее значение получают испытания натуральных деталей.

Испытания особо важны для обеспечения надежности машин. Эксплуатационные наблюдения надежности и долговечности машин оказываются статистически достоверными только через длительные сроки эксплуатации. Считается, что решение важнейшей для народного хозяйства проблемы надежности машин в значительной степени тормозится из-за невозможности быстрых испытаний по этому критерию.

Полный комплекс испытания машин предусматривает следующую последовательность и состав испытаний: от деталей к узлам, агрегатам и к машине в целом и от лабораторных испытаний к испытанию на полигоне, к опытной эксплуатации и к серийной эксплуатации. Объем испытаний зависит от ответственности и назначения машины, ее напряженности, новизны и от объема выпуска. При всех испытаниях должна оцениваться их точность и обеспечиваться необходимая достоверность результатов.

В соответствии с основными критериями работоспособности и надежности деталей машин их испытывают на точность, потери на трение, прочность, жесткость, теплостойкость, износостойкость и виброустойчивость.

Испытания деталей проводят:

– на экспериментальных установках, позволяющих испытывать относительно дешевые образцы, форсировать режимы и проводить точные измерения;

– в натуральных узлах и машинах, позволяющих выполнять испытания в условиях, близких к эксплуатационным.

Основное распространение и значение имеют испытания на экспериментальных установках. В натуральных машинах удобно проводить испытания без разрушения по критериям точности, жесткости, виброустойчивости.

Испытания делятся на кратковременные, при которых фиксируется состояние объекта в данный момент, и длительные, в процессе которых контролируется изменение состояния во времени. Кратко-

временные испытания требуют времени для достижения установившегося температурного состояния и собственно для проведения измерений. К этим испытаниям относят испытания по следующим критериям: начальной точности, прочности при единичных нагрузениях, жесткости, виброустойчивости. К длительным испытаниям относят испытания на усталость, изнашивание, коррозию, проводимые до разрушения или исчерпания значительной части ресурса.

Для испытания деталей машин по показателям, имеющим существенное рассеяние, в частности на ресурс, необходимо пользоваться статистическими методами. Выборка, т. е. количество изделий, подлежащих испытанию, должна быть достаточно представительной. Она зависит от масштаба выпуска, стоимости изделия и его испытания, рассеяния показателя и др.

Испытания на надежность и испытания по всем критериям, связанным с накоплением повреждений, требуют длительного времени. Считается, что решение первоочередной задачи техники – обеспечение необходимой надежности оборудования – затрудняется невозможностью достаточно быстрой оценки надежности. Поэтому проблема ускоренных испытаний является весьма актуальной. Ускорение испытаний достигается следующими основными путями (или их сочетаниями):

- обеспечением непрерывности испытаний;
- повышением частоты нагружений или скорости скольжения;
- увеличением нагрузок или исключением из их спектра нагрузок, не влияющих или слабо влияющих на долговечность;
- форсированием воздействия окружающей среды (загрязнений, коррозии и т. д.);
- повышением точности измерений;
- использованием статистических методов обработки результатов с использованием исследованных ранее закономерностей;
- применением научного планирования экспериментов.

При ускорении испытаний характер выхода деталей из строя должен обязательно сохраняться таким же, как и в эксплуатации. Это условие является обязательным при установлении возможного форсирования режимов. Ускоренные испытания особенно удобны как сравнительные, а также для проверки стабильности качества продукции. При использовании их для оценки ресурса необходимо установление коэффициента перехода на основе сопоставления с результатами эксплуатационных наблюдений или хотя бы длительных испытаний.

При полных испытаниях на долговечность доводят до отказа все изделия партии и получают кривую распределения ресурса. Применяют также сокращенные испытания до отказа $(100 - y)\%$ изделий партии, где y – процент изделий, для которых гарантирован ресурс, или до отказа числа изделий, достаточного, чтобы сделать заключение о качестве партии или вычислить средний ресурс.

Испытания на крупных деталях оказываются дорогими, требующими больших мощностей и больших лабораторных площадей. Поэтому значительную часть испытаний проводят на образцах уменьшенных размеров. Для перехода к натурным деталям используют теорию подобия, а также проводят специальные исследования для установления влияния масштабного фактора. Экспериментально определять параметры объекта исследования можно непосредственным измерением (например, размеров) и приведением системы в равновесное состояние (например, взвешиванием на обычных весах, электрическим измерением с помощью мостика Уитстона). Экспериментальное определение воздействий на объект исследования может также проводиться по результатам воздействий на объект (например, определение сил по упругим деформациям объекта).

Испытания при повышенных и пониженных температурах проводят с подогревом или охлаждением испытуемых деталей в специальных камерах, для которых в машине должно быть предусмотрено место. Подогрев осуществляется электрическим током, охлаждение же – парами азота, поступающего из сосуда Дьюара, причем для задания и поддержания температуры используется автоматический регулятор температуры. Иногда жидкий азот заливают в полости камеры. Существуют общие низкотемпературные камеры (помещения), но их использование для испытания деталей машины нерационально.

В связи с мелкосерийным и индивидуальным производством испытательных машин экономически особо выгодна унификация их типовых элементов, а также применение в них стандартных централизованно изготавливаемых элементов, элементов машин крупносерийного и массового выпуска, стандартной отработанной аппаратуры. Машины и стенды для испытания общемашиностроительных деталей (зубчатых, червячных, цепных и ременных передач, подшипников, муфт, крепежных изделий, пружин и рессор, уплотнений и др.) должны изготавливаться централизованно, а стенды для испытания специфических для отдельных отраслей узлов – централизованно в масштабе отраслей.

Методы измерения параметров при испытаниях деталей машин можно разделить на механические, пневматические, оптические и электрические.

При изменении постоянных или медленно меняющихся параметров преимущественно используют более простые методы – механические или оптические. Пневматические методы применяют как бесконтактные. При измерении быстроменяющихся параметров, а также при автоматическом контроле размеров преимущественно применяют электрические методы, достоинствами которых являются малая инерционность, малое влияние на объект измерения благодаря малым массам и размерам датчиков, дистанционность, удобная регистрация результатов с помощью осциллографов и других приборов, легкость автоматизации и т. п. Применение электрических дифференцирующих и интегрирующих устройств позволяет по замеренным перемещениям регистрировать скорости и ускорения, или наоборот.

Невозможность полного воспроизведения при испытаниях действительных условий эксплуатации машин, а также высокая стоимость испытания дорогостоящих изделий заставляют обращать серьезное внимание на эксплуатационные наблюдения. Наблюдения должны проводиться потребителями и изготовителями совместно, в результате чего фиксируются серьезные отказы, сроки службы деталей, снижение показателей работы. Целесообразна разработка эксплуатационных паспортов машин, подлежащих обязательному заполнению потребителями. Эксплуатационные наблюдения требуют достаточных объемов, сроков и статистической обработки результатов.

Среди испытаний деталей машин особое место занимают учебные лабораторные испытания. К ним предъявляются следующие требования: иллюстративность основных положений теории; наглядность результатов; кратковременность, определяемая необходимостью уложить каждое испытание в одно занятие; малые габариты экспериментальных установок, дешевые образцы.

Сельскохозяйственная техника, подлежащая разработке и постановке на производство, должна удовлетворять требованиям заказчика, изложенным в техническом задании и другой нормативной документации, и обеспечивать возможность эффективного применения потребителем.

В соответствии с РД Республики Беларусь 0410.42–95 испытаниями называют экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как ре-

зультата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействии.

В связи с тем, что условия применения сельскохозяйственной техники многообразны и недостаточно изучены, значения параметров сельскохозяйственных сред (особенно почвенных условий) изменяются в больших пределах, аналитические методы расчетов многих типов рабочих органов еще далеки от совершенства, то испытания вновь изготовленных образцов сельскохозяйственной техники в настоящее время являются составной частью (стадией) процесса отработки новых конструкций.

Основной формой контроля соответствия нового изделия предъявляемым требованиям являются испытания, в процессе которых экспериментально определяются количественные и качественные характеристики новых образцов техники.

Необходимость приемочных испытаний сельскохозяйственной техники подтверждает, например, такой факт, что ежегодно положительную рекомендацию (решение о постановке изделия на производство) по результатам испытаний на Белорусской МИС получают только до 30% испытанных образцов машин, а у остальных 70% образцов изделий выявляются недостатки конструкции, из-за которых машины нельзя эффективно применять в сельскохозяйственном производстве.

ТЕМА 15. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Автоматизированное проектирование (АПР), позволяющее инженеру автоматизировать свой интеллектуальный труд, появилось почти одновременно с первыми вычислительными системами. Всеобщая компьютеризация не обошла стороной и АПК. В настоящее время существует значительный объем прикладного программного обеспечения для состава проектных бюро, начиная от программ, написанных самими пользователями, и заканчивая программными комплексами, охватывающими весь цикл проектирования изделия и технологической подготовки производственного процесса.

Каждая проектная организация, каждое промышленное предприятие, получая более или менее серьезный заказ, осознают, что без средств автоматизации не достигнуть высокого качества и скорости выполнения работ. То же происходит и в сельскохозяйственной отрасли. Заказчик, размещая заказ на проектирование или строительство машины, смотрит

не только на высокое качество выполненной работы и соответствие мировым стандартам, но и на методы выполнения данной работы. АПР часто определяет качество и сроки выполнения проектно-конструкторской, рабочей и технологической документации. Поэтому разработка и внедрение на своем предприятии АПР является трудным, но необходимым шагом. Пример структуры и состава системы автоматизированного проектирования (САПР) универсального энергетического средства (УЭС), имеющей прикладной характер, представлен на рис. 27.

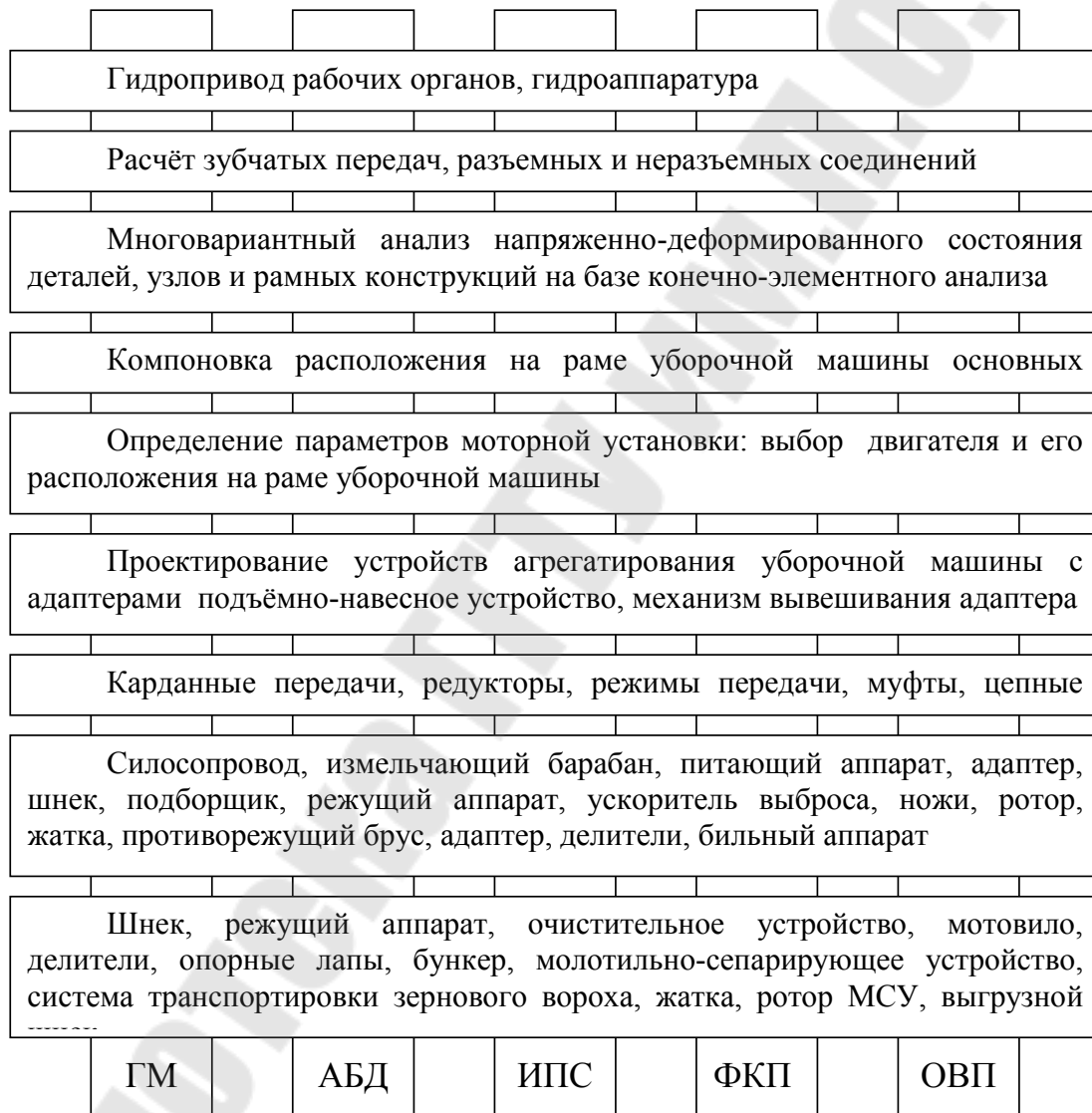


Рис. 27. Структура САПР уборочной машины (по горизонтали – проектирующие подсистемы, по вертикали – обслуживающие):

ГМ – геометрическое моделирование деталей, узлов и агрегатов на плоскости и в пространстве на основе пакетов КОМПАС, AutoCAD;
 АБД – автоматизированный банк данных; ИПС – информационно поисковая система; ФКД – подсистема формирования конструкторской документации; ОВП – подсистема организации вычислительного процесса

Рынок программного обеспечения изобилует САПР, и, чтобы ориентироваться в этом разнообразии, нужно иметь четкое представление о функциях соответствующего программного комплекса и целях его использования. Нужно определить тип и объем стоящей перед вами задачи. Здесь под типом подразумевается, нужно ли приобретать специализированную САПР или можно обойтись универсальной. При определении объема надо учитывать, сколько сотрудников будут участвовать в проекте одновременно (т. е. целесообразно ли работать в сети) и продолжительность процесса.

Современные системы автоматизации проектирования технических объектов (CAD/CAM/CAE) можно подразделить на следующие уровни:

- системы высокого уровня (UNIGRAPHICS, CATIA, PRO-ENGINEER);
- системы среднего уровня (SOLID EDGE, SOLID WORKS, MECHANICAL DESKTOP, AUTODESK INVENTOR);
- системы нижнего уровня (КОМПАС-3D, T-FLEX CAD 3D, AUTOCAD 3D).

CAE система компании «Unigraphics Solutions» – система современных средств трехмерного моделирования, формирования сложных сборок, электронного макетирования, воплощения визуальных проектов в реальное изделие. Она содержит в себе технологию, ориентированную на процессы производства сложных технических объектов (автомобилей, самолетов, зерноуборочных комбайнов и инструментов). «Unigraphics» предоставляет производителю продукции возможность строить полную цифровую модель будущего изделия, необходимую для проектирования и конструирования, инженерного анализа и изготовления.

AutoCAD (фирма AUTODESK Inc., USA) – первая получившая широкое распространение система автоматизированного проектирования (САПР) на персональных компьютерах удерживает лидерство и до настоящего времени.

Графический редактор AutoCAD известен во всем мире и очень распространен в Беларуси. До сих пор многие пользователи воспринимают его как средство для выпуска чертежей. На самом деле сегодня AutoCAD является базовой САПР, которую можно использовать в самых разных целях:

- как электронный кульман, для создания двумерных чертежей и рисунков;
- как систему трехмерного моделирования.

Mechanical Desktop – система твердотельного и поверхностного трехмерного моделирования, проектирования сборок, создания чертежей. 1995 г. стал переломным для мирового рынка систем CAD/CAM массового применения. Впервые за долгое время пакеты твердотельного параметрического моделирования с промышленными возможностями стали доступны пользователям персональных компьютеров.

Одно из лучших решений такого уровня смогла предложить американская компания «SolidWorks Corporation». Созданная в 1993 г., эта фирма уже через два года, в ноябре 1995 г., выпустила на базе геометрического ядра Parasolid свой первый программный продукт. Пакет твердотельного параметрического моделирования *SolidWorks 95* сразу занял ведущие позиции среди продуктов этого класса, буквально ворвавшись в мировую «табель о рангах» систем CAD/CAM.

К началу нового тысячелетия многие конструкторы и технологи во всем мире практически одновременно пришли к одинаковому выводу – для того, чтобы повысить эффективность своего труда и качество разрабатываемой продукции, необходимо срочно переходить от работы в смешанной среде двумерной графики и трехмерного моделирования к использованию объемных моделей, в качестве основных объектов проектирования.

Создатели системы *SolidWorks* учли все эти требования, и, таким образом, дали возможность десяткам тысяч конструкторов использовать на своих персональных рабочих местах новейшие достижения науки в области технологий CAD/CAM.

Еще одна современная система *Solid Edge* является принципиально новой системой автоматизированного конструирования (CAD), которая предназначена для разработки сборочных узлов и геометрического моделирования отдельных деталей. Разработанный с использованием передовой технологии трехмерного моделирования, *Solid Edge* обеспечивает настоящий прорыв в области интерактивного конструирования изделий машиностроения и позволяет значительно сократить время разработки изделия.

Компания «Unigraphics Solutions» имеет уникальную для отрасли степень интеграции между своими продуктами САПР среднего уровня *Solid Edge*, САПР верхнего уровня *Unigraphics* и системой введения проекта iMAN. В то время как другие могут предложить только передачу геометрических моделей, *Unigraphics* обеспечивает сохранение ассоциативности и возможности автоматического обновления деталей и сборок в обоих направлениях. Для того, чтобы это

стало возможно, системы должны иметь общими не только геометрическое ядро (*Parasolid*), но и систему именования топологии и систему идентификации изменения топологии.

Новый продукт фирмы *AutoDesk* – *AutoDesk Inventor* – предназначен для твердотельного моделирования и работы с большими сборками. Это принципиально новый программный продукт, не основанный на платформе *AutoCad*, ориентированный на пользователей *Cad/CaM* систем высокого уровня. В нем реализованы принципиально новые технологические подходы, инструменты и приемы проектирования.

КОМПАС-3D – новый и постоянно совершенствующийся модуль известного программного комплекса. Начиная с 1999 г. компания «Аскон» (на протяжении уже двадцатилетия известная как поставщик чертежно-графического редактора *КОМПАС-ГРАФИК* и семейства продуктов под маркой *КОМПАС*), выпускает на рынок свою систему твердотельного трехмерного моделирования *КОМПАС-3D*. Ввиду сравнительно невысокой цены *КОМПАС-3D* его можно рекомендовать для эксплуатации в комплексе с «тяжелыми» и «средними» САПР (например, с пакетом *SolidWorks*). Подготовленные в *КОМПАС-3D* модели деталей можно затем передать в смежную систему для последующей их сборки.

В сентябре 2000 г. компания «Аскон» объявила о выпуске очередной версии системы трехмерного твердотельного моделирования *КОМПАС-3D*. Как и было запланировано, новшеством стало появление в *КОМПАС-3D* средств моделирования сборок.

Сборка является новым типом документа *КОМПАС*. Принципы моделирования сборки позволяют пользователю получить объемную модель изделия в целом, с учетом всей его структуры. Преимущества объемного моделирования сборок особенно ярко проявляются при проектировании «сверху вниз», когда модель детали создается на основе уже имеющейся обстановки; однако возможна и сборка изделия из полностью готовых деталей (проектирование «снизу вверх»). Для создания трехмерной модели проектируемого изделия фирма «Топ Системы» предлагает систему параметрического трехмерного твердотельного моделирования *T-FLEX CAD 3D*.

T-FLEX CAD 3D построена на геометрическом ядре *Parasolid* фирмы *Unigraphics Solutions*, которое сегодня считается лучшим ядром для трехмерного твердотельного моделирования. Это ядро используется в ведущих системах 3D моделирования.

Моделирование в T-FLEX CAD 3D может осуществляться как непосредственно в 3D пространстве, так и на основе данных двумерного чертежа. Проектировщик может выбрать любой способ работы в T-FLEX CAD 3D или их комбинацию:

- от трехмерной модели к чертежам изделия;
- от двухмерного чертежа к трехмерной модели.

ТЕМА 16. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Возрастающие с каждым годом выработка и потребление энергии в Беларуси создают необходимые условия для ускорения научно-технического процесса, улучшающего благосостояние граждан. Но вместе возрастающие объемы потребления энергии требуют все больших объемов углеводородного сырья, стоимость которого возрастает.

Сегодня проблема нехватки и дороговизны энергии, потребляемой субъектами агропромышленного комплекса (АПК), особенно на зрела. В себестоимости продукции отечественных предприятий до 60 % приходится именно на энергию, т. е. в 3–5 раз больше, чем в экономически развитых странах. Это косвенно снижает конкурентоспособность белорусских товаров на мировом рынке. Поиск и рациональное использование альтернативных источников энергии – это один из способов подъема отрасли на должный уровень. Использование в сельском хозяйстве местных видов топлива, производство тепловой и электрической энергии из возобновляемых источников в сочетании с мероприятиями по энергосбережению позволит сократить объемы потребления импортных энергоносителей на 15–20 %, а через 3–5 лет почти в полтора раза.

Особенности функционирования АПК связаны с тем, что в качестве объекта воздействия машинных технологий чаще всего выступают биологические объекты: почва, растения, животные. Это накладывает отпечаток на особенности потребления и распределения энергии, а также на возможные энергетические источники. Структура теплоэнергетических ресурсов для сельского хозяйства помимо традиционных источников энергии (нефти, газа, электроэнергии) включает также солнечную энергию, энергию биологической массы, вторичные энергоресурсы.

При плановой модели хозяйствования отмечалась устойчивая тенденция к повышению энергоемкости сельскохозяйственного производства. Увеличение прироста валовой продукции АПК на 1 % дос-

тигалось повышением на 1,8–2,7% используемых энергетических мощностей.

Проблема энергосбережения в АПК включает последовательное решение трех задач:

- принятие и постепенная реализация организационно-экономических и нормативно-правовых мероприятий;
- внедрение энергосберегающих технологий широким использованием вторичных энергоресурсов;
- изменение машинных технологий с кардинальным снижением энергетических затрат.

В животноводстве потребляется 18–22% жидкого топлива и 19–20% электрической энергии от всех энергоресурсов, используемых на производственные цели в сельском хозяйстве. Одна из основных причин состоит в том, что реализация генетического потенциала животных не превышает 60%. Животноводческая отрасль недостаточно обеспечена кормами, они не сбалансированы по белку и микроэлементам. В плане ресурсосбережения в животноводстве перспективна разработка комплекса мероприятий по совершенствованию структуры кормопроизводства. Замена зерновых кормов травяными, на производство которых затрачивается меньше энергии, ведет к значительной экономии энергетических ресурсов. Системы содержания и кормления животных с организацией многолетних культурных пастбищ и загонной пастбы животных ведет к снижению энергоемкости животноводческой продукции в 2–3 раза в сравнении со стойловым содержанием животных.

В растениеводстве также происходит коренная переоценка применяемых технологий возделывания культур с целью существенного сокращения энергетических затрат. Для того чтобы снизить энергетические затраты, при основной обработке почвы применяются ресурсосберегающие приемы обработки почвы. В качестве последних выступают плоскорезная обработка почвы, мелкое лемешное лушение, дискование. Исследования показывают, что на оструктуренных плодородных почвах ресурсосберегающие обработки в сравнении со вспашкой не снижают урожайность зерновых культур. При этом расход горючего при основной обработке почвы снижается на 1 л при уменьшении глубины обработки на 1 см.

Одной из энергоемких операций, применяемых при возделывании зерновых культур, является сушка зерна. Установлено, что для того чтобы снизить влажность зерна с 30 до 14%, необходимо сжечь

горючего от 15 до 20 кг на 1 т зерновой массы. Использование в кормопроизводстве зерносенажа и плющеного зерна в сельском хозяйстве позволяет значительно снизить расход горючего благодаря исключению операции с сушкой зерна.

В сельском хозяйстве основными направлениями повышения эффективности использования теплоэнергетических ресурсов (ТЭР) являются:

- внедрение энергоэффективных систем микроклимата, кормления, поения и содержания молодняка;
- внедрение систем обогрева производственных помещений инфракрасными излучателями;
- использование гелиоколлекторов для нагрева воды, используемой на технологические нужды;
- внедрение частотно-регулируемого привода для технологических установок;
- перевод котельных в водогрейный режим;
- децентрализация схем теплоснабжения с внедрением газогенераторных установок;
- замена электрод котлов и неэкономичных чугунных котлов на котельные установки, работающие на местных видах топлива;
- внедрение газогенераторных установок с применением эффективных технологий;
- преобразования низкосортных топлив в высококалорийные;
- создание мини-ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания, установка турбогенераторов малой мощности в котельных, строительство малых ГЭС;
- термореновация производственных помещений;
- внедрение энергоэффективных систем освещения производственных помещений, уличного освещения населенных пунктов;
- установка современной аппаратуры для технического обслуживания, регулирования двигателей внутреннего сгорания.

Анализ сложившейся в АПК ситуации с расходом ТЭР позволяет наметить к внедрению следующие первоочередные мероприятия:

- внедрение обогреваемых полов и ковриков на животноводческих комплексах;
- перевод содержания животных на глубокую подстилку;
- внедрение энергоэффективных систем поения, кормления улучшенного содержания птицы, замена проточных поилок на ниппельные;

- термореновация производственных помещений;
- внедрение экономичных теплогенераторов, воздухонагревателей для сушки зерна;
- замена низкоэффективных котлов на более экономичные, перевод котлов на местные виды топлива;
- ликвидация длинных тепло- и паротрасс с внедрением установок локального обогрева помещений на местных видах топлива;
- внедрение систем зонного обогрева инфракрасными излучателями, гелиоколлекторных установок;
- внедрение приборов контроля и регулирования ТЭР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуллер, Г. С. Творчество как точная наука. Теория решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер. – М. : Сов. радио, 1979. – 184 с.
2. Джонс, Дж. К. Методы проектирования : пер. с англ. / Дж. К. Джонс. – М. : Мир, 1986. – 326 с. : ил.
3. Иванов, А. С. Конструируем машины. Шаг за шагом : в 2 ч. / А. С. Иванов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – Ч. 1. – 328 с. : ил.
4. Мюллер, М. Эвристические методы в инженерных разработках / М. Мюллер ; пер. с нем. под ред. А. И. Половинкина. – М. : Радио и связь, 1984. – 144 с.
5. Половинкин, А. И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение / А. И. Половинкин. – М. : Информэлектро, 1991. – 104 с. : ил.
6. Прохоров, А. В. Конструктор и ЭВМ / А. В. Прохоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 272 с. : ил.
7. Хубка, В. Теория технических систем / В. Хубка ; пер. с нем. под ред. К. А. Люшинского. – М. : Мир, 1987. – 208 с.
8. Шухардин, С. В. Техника в ее историческом развитии / С. В. Шухардин, Н. К. Ломан, А. С. Федоров. – М. : Наука, 1979. – 412 с.
9. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
10. Приходько, П. Т. Азбука исследовательского труда / П. Т. Приходько. – Новосибирск : Наука, 1979. – 94 с.

Содержание

Тема 1. Проблемы механизации сельскохозяйственного производства и задачи агроинженерной науки	3
Тема 2. История развития сельскохозяйственной техники: от сохи к плугу, от серпа к комбайну	6
2.1. Освоение примитивных образцов сельскохозяйственной техники	6
2.2. Эволюция создания конструкции зерноуборочного комбайна	10
2.3. Результаты эволюционного развития зерноуборочного комбайна	16
2.4. Рабочее место и организация труда современного инженера	17
Тема 3. Продукция ПО «Гомсельмаш». Система машин для реализации научно обоснованных технологий производства продукции основных сельскохозяйственных культур	18
Тема 4. Особенности автоматизации процессов, выполняемых машинами, при возделывании и уборке сельскохозяйственных культур	33
4.1. Факторы, определяющие эффективность работы уборочных машин	33
4.2. Автоматизации загрузочных режимов уборочных машин	35
Тема 5. Законы развития технических систем на примере эволюции сельскохозяйственных машин для возделывания и уборки сельскохозяйственных культур	36
5.1. Закон прогрессивной эволюции техники	36
5.2. Закон соответствия между функцией и структурой	38
5.3. Закон стадийного развития техники	39
Тема 6. Методы решения инженерных задач: мозговой штурм, метод контрольных вопросов, морфологический ящик цвикки, эмпатия, синектика	41
6.1. Мозговой штурм	41
6.2. Метод контрольных вопросов	43
6.3. Метод морфологического ящика	44
Тема 7. Теория решения изобретательских задач	47
7.1. Методы активизации поиска новых технических решений	47
7.2. Идеальный конечный результат	49
7.3. Теория веполей	50
Тема 8. Функционально-стоимостный анализ технических объектов	51
Тема 9. Инновационная деятельность инженера	55
9.1. Что такое патент	55
9.2. Условия патентоспособности	56

Тема 10. Математические модели в инженерных дисциплинах	58
Тема 11. Оптимизация технических объектов	62
Тема 12. Понятие о жизненном цикле сельскохозяйственной машины.....	66
Тема 13. Формирование показателей надежности сложного технического объекта на ранних стадиях процесса проектирования.....	70
Тема 14. Испытания сельскохозяйственных машин и их роль в доводке машины	73
Тема 15. Автоматизация проектирования технических объектов	78
Тема 16. Энергосбережение в агропромышленном комплексе.....	83
Литература	87

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Попов Виктор Борисович

ВВЕДЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**Курс лекций
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 12 01 «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *А. Д. Федорова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 06.09.11.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 5,3.

Изд. № 19.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48