

УДК 629.114.2-182.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНЫХ УСТРОЙСТВ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В. Б. ПОПОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Серийное универсальное энергетическое средство УЭС-2-280А «ПОЛЕСЬЕ» предназначено для выполнения сельскохозяйственных работ по заготовке кормов, улучшению лугов и пастбищ, обработки почвы и других работ. Мобильное энергетическое средство (МЭС) работает с широким шлейфом сменных рабочих адаптеров: с различными видами навесных машин (НМ) и орудий, что позволяет успешно решать проблемы механизации труда в случаях, когда использование специализированных машин нецелесообразно. Агрегатирование УЭС с адаптерами в составе многофункциональных технологических агрегатов (МТА) осуществляется двумя подъемно-навесными устройствами (ПНУ): передним (рис. 1, а) – со стороны моста управляемых колес – и задним (рис. 1, б) – со стороны кабины. Эффективность агрегатирования УЭС с адаптерами зависит, в том числе, от выбора на ранних стадиях проектирования ПНУ его параметров [1] и их регулировки во время работы [2].

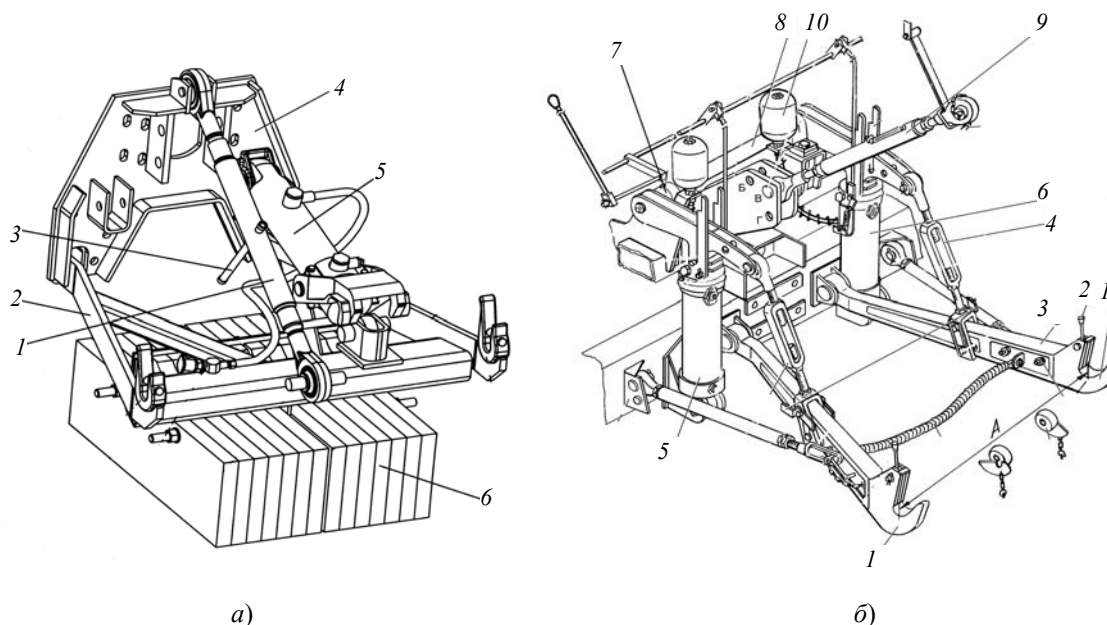


Рис. 1. Переднее (а) и заднее (б) подъемно-навесные устройства «УЭС-2-280А»:
а – переднее устройство: 1 – тяга верхняя; 2 – рычаги нижние; 3 – рукоятка; 4 – плита;
5 – гидроцилиндр; 6 – блок дополнительных грузов; б – заднее устройство: 1 – захваты;
2 – ручка фиксатора; 3 – нижние тяги; 4 – раскосы; 5, 6 – гидроцилиндры; 7 – опоры;
8 – поворотный вал; 9 – тяга верхняя; 10 – пневмогидроаккумуляторы; А – ось подвеса;
Б–Г – отверстия установки тяги верхней 9

Известны три основных режима эксплуатации ПНУ в составе МТА: рабочий, транспортный и режим перевода навесной машины из рабочего положения в транспортное. Использование известных методов [3] при проектировании ПНУ не может обеспечить комплексную увязку параметров ПНУ, определяющих показатели качества работы современных МТА, и параметров, определяющих грузоподъемность ПНУ. Эти методы осложняют поиск оптимальных вариантов ПНУ, увеличивая время и стоимость их экспериментальной доводки.

Функциональное проектирование ПНУ должно базироваться на соответствующих математических моделях анализа [4] и синтеза [5], [6]. Настоящая работа является попыткой применения принципов системного подхода к разработке методики функционального проектирования ПНУ, учитывающей опыт расчетов подъемно-навесных устройств для трех поколений УЭС [7].

Цель работы – усовершенствование методики расчета выходных и выбора оптимальных внутренних параметров ПНУ, обеспечивающих уточнение расчетов и рациональный выбор показателей качества ПНУ для основных режимов работы МТА.

Основная часть

Условно можно выделить несколько стадий разработки ПНУ УЭС: предпроектных исследований, функционального проектирования, уточнения внешних и внутренних параметров ПНУ по результатам стендовых и лабораторно-полевых испытаний, наконец, проектирования с уточненными исходными данными и окончательного выбора структуры и параметров для основных компонентов ПНУ.

Стадия предпроектных исследований включает в себя анализ конструкций ПНУ таких ведущих фирм, как, например, CLAAS, Walterscheid, John Deere; анализ накопленного опыта конструирования ПНУ для трех поколений УЭС в «НТЦ комбайностроения» [7] и технико-экономическое обоснование рекомендуемого к разработке варианта.

Характерными особенностями ПНУ современных МЭС (энергонасыщенных тракторов и универсальных энергетических средств) являются:

- усложнение структуры механизма навески переднего и гидропривода заднего подъемно-навесных устройств;
- наращивание функций, выполняемых гидроприводом ПНУ;
- рост грузоподъемности переднего и заднего ПНУ, в том числе за счет параметрической оптимизации.

На стадии функционального проектирования ПНУ разрабатывают в автоматизированном режиме, что предполагает регулярное обращение к функциональным математическим моделям (ФММ), имитирующим режимы работы ПНУ в составе МТА. При этом ФММ – это основные компоненты математического обеспечения, обеспечивающие на завершающей стадии разработки ПНУ рациональный выбор его параметров.

Структура процесса функционального проектирования ПНУ УЭС представляется последовательностью чередующихся проектных процедур: анализ – принятие решения – синтез – принятие решения – анализ и т. д. Повторяющийся цикл из трех проектных процедур: анализ – принятие решения – синтез призван обеспечить итеративное решение задач функционального проектирования ПНУ.

Исходя из назначения УЭС и навешиваемых адаптеров инженер-конструктор одновременно стремится удовлетворить ряд противоречивых условий и требований:

- рассчитать и выбрать внутренние параметры МН так, чтобы в моменты начала и окончания движения навесная машина занимала желаемое положение, которое одновременно соответствовало и требованиям стандарта [8];

– обеспечить необходимый запас грузоподъемности ПНУ для навески предполагаемых к агрегатированию адаптеров при ограниченной мощности гидропривода ПНУ;

– обеспечить управляемость МТА с поднятой в транспортное положение НМ, а также нормативную нагрузку на передний и задний мосты УЭС во время движения;

– минимизировать нагрузку в элементах ПНУ и силовое воздействие, передаваемое со стороны навесной машины через МН на раму УЭС.

Поиск и анализ вариантов агрегатирования УЭС с навесными машинами [9] и тракторов с навесными орудиями [10], [11] позволил сформулировать требования, предъявляемые к подъемно-навесным устройствам МЭС. Причем эти требования характерны для основных режимов эксплуатации МТА, сформированных как на базе УЭС, так и на базе колесных тракторов.

Режим I – перевод навесной машины из одного рабочего режима в другой:

1. Обеспечить возможность плавного перевода (подъема) навешиваемого оборудования в транспортное положение.

2. Удовлетворить ограничения по допустимой эксплуатационной массе МТА, нагрузкам на оси и нагрузочной способности шин УЭС при навешивании адаптеров (балластов) на передний и задний трехточечный механизмы навески.

3. Обеспечить минимизацию возможных величин нагрузок, действующих в элементах ПНУ УЭС.

4. Обеспечить запас по управляемости и продольной устойчивости УЭС с НМ в транспортном положении.

Режим II – выполнение МТА соответствующих технологических операций:

5. Обеспечить возможность копирования адаптером опорной поверхности.

6. Обеспечить самозаглубление рабочих органов навесного орудия.

7. Обеспечить стабильность хода по глубине рабочих органов навесного орудия.

8. Обеспечить расчетный тяговый коэффициент полезного действия УЭС с целью стабилизации его тягово-сцепных качеств.

9. Обеспечить управляемость и продольную устойчивость УЭС с адаптером во время работы.

10. Обеспечить минимизацию возможных величин нагрузок, действующих в элементах ПНУ УЭС при выполнении технологических операций.

Режим III – транспортный переезд МТА:

11. Обеспечить достаточный транспортный просвет под адаптером (орудием) во время движения МТА.

12. Удовлетворить ограничения по нагрузкам на оси и нагрузочной способности шин УЭС во время транспортного переезда с навешенными адаптерами (балластом) на переднем и заднем механизмах навески.

13. Ограничить возможность возникновения резонанса во время движения МТА по пересеченной местности с НМ в транспортном положении.

14. Обеспечить управляемость и продольную устойчивость УЭС с адаптером в транспортном положении во время движения.

15. Обеспечить минимизацию возможных величин нагрузок, действующих в элементах ПНУ УЭС во время движения.

В каждом из трех режимов есть сходные требования, например, позиции 2, 8, 12 связаны с перераспределением нагрузки на передний и задний мосты УЭС: при переводе НМ в транспортное положение и ее перераспределением в рабочем и транспортном режимах. Несмотря на то что требования для всех режимов остаются общими, необходимо учесть имеющую место динамику перераспределения.

Позиции 3, 10, 15 связаны между собой требованием минимизации возможных величин нагрузок, действующих в элементах ПНУ. Следует иметь в виду, что силы реакции, действующие, например, в звеньях МН во время подъема навесной машины, дополняются в рабочем и транспортном положениях компонентами от силы сопротивления рабочего орудия [12] и от силы инерции, возникающей в центре тяжести НМ в процессе транспортного переезда [13].

Позиции 4, 9, 14 связаны между собой требованием обеспечения управляемости и продольной устойчивости УЭС с адаптером в рабочем, транспортном и промежуточном режиме подъема НМ [14]. Расчет управляемости в «режиме подъема НМ» должен вестись с запасом, поскольку имеющее место перераспределение нагрузки на оси УЭС в двух других режимах может нарушить требование по управляемости УЭС.

Позиция 1 полностью определяется расчетом грузоподъемности ПНУ [4]. Позиция 5 связана с обеспечением копирования адаптером опорной поверхности [9]. Решение вопросов, связанных с позициями 6 и 7, подробно рассмотрено в [11] и полностью определяется положением мгновенного центра вращения НМ.

Позиция 11 обеспечивается предварительным расчетом положения нижней точки НМ в транспортном положении [4] и учетом влияния колебаний центра тяжести НМ во время транспортного переезда [13]. Позиция 13 предполагает проведение анализа влияния вынужденных колебаний МТА на собственные в режиме транспортного переезда [3].

Структура новейших ПНУ неизменна и представлена гидроприводом и механизмом навески (рис. 2). Механизм навески – это основной структурный компонент гидромеханического устройства, определяющий характер взаимодействия УЭС с адаптерами в замкнутой кинематической цепи (рис. 2, б), состоящей из рамы УЭС, гидроцилиндра, звеньев МН и навесной машины. Ход поршня (ΔS) рассматривается как изменение входной (обобщенной) координаты, а изменение положения центра тяжести НМ (S_6) – как изменение выходной координаты.

Выбор параметров ПНУ (рис. 2) для обеспечения подъема НМ важен как в энергетическом аспекте, так и в информационном. Большая часть рассчитываемых здесь выходных параметров используется и в других режимах эксплуатации ПНУ. Например, рабочее и транспортное положения оси подвеса – P_{56} , завал стойки присоединительного треугольника – $\Delta\phi_6$, высота подъема Y_{S6} и вылет навесной машины X_{S6} (рис. 2, б). Передаточное число механизма навески и грузоподъемность ПНУ, максимальная высота подъема НМ, а также время ее подъема и максимальное давление в гидроприводе влияют на режимы работы агрегатов. Они относятся к основным показателям качества ПНУ [5], [6] и определяются параметрами механизма навески, гидропривода и навесного оборудования. Для расчета выходных параметров ПНУ были разработаны математические модели, формализующие процедуры геометрического, кинематического, силового и динамического анализа. Так, результаты силового анализа МН используются для анализа прочности рамы УЭС и звеньев механизма навески. Динамический анализ нагруженного ГП уточняет результаты силового анализа звеньев МН и одновременно расчет параметров гидропривода, а также время подъема и опускания навесной машины. Адекватность и точность разработанных ФММ анализа свойств ПНУ – необходимое условие рационального выбора параметров ПНУ в процедуре оптимизационного синтеза.

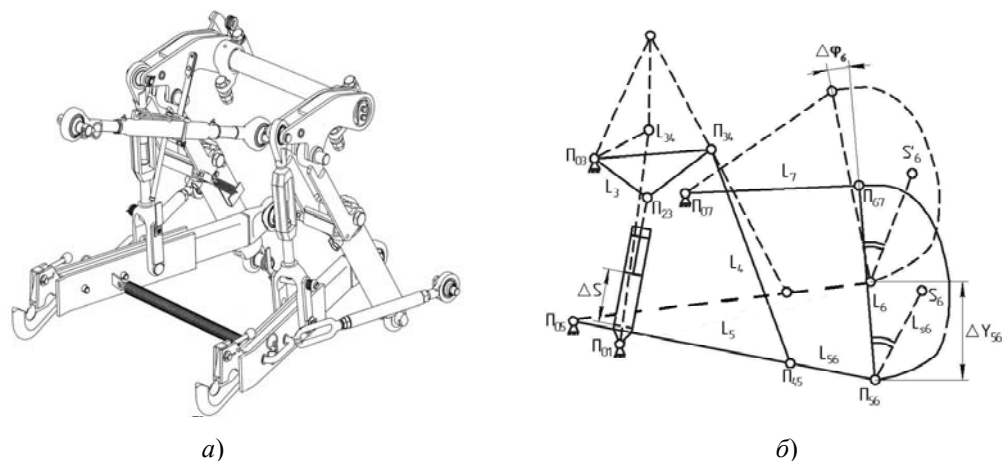


Рис. 2. Заднее подъемно-навесное устройство (а) и плоский аналог кинематической цепи, включающий механизм навески УЭС и навесную машину (б)

Попытки решить задачу параметрической оптимизации искусственным уменьшением реального числа критериев оптимальности (показателей качества), как правило, приводят к серьезному огрублению задачи и тем самым ставят под сомнение итог ее решения [15]. Примером такой попытки может быть сведение многокритериальной задачи к однокритериальной [1]. Под постановкой многокритериальной задачи здесь понимается обоснование и построение содержательного допустимого множества решений, которое определяется многочисленными параметрическими, функциональными и критериальными ограничениями [5], [6]. Алгоритм поиска оптимального решения для ПНУ УЭС представлен на рис. 3.

В основу поиска положен метод исследования пространства параметров [15]. Исследование состоит из трех этапов. Первый этап – составление таблиц испытаний – выполняется ПЭВМ. Выбираются N пробных точек $\underline{\alpha}^1, \dots, \underline{\alpha}^N$, равномерно расположенных в многомерном кубе, в области, очерченной границами изменения управляемых параметров пробной (исходной) модели ПНУ. Пробные точки, не удовлетворяющие функциональным ограничениям, отбрасываются и в поиске оптимальных решений не участвуют. В каждой из точек $\underline{\alpha}^i$ вычисляются все локальные критерии $\Phi_v(\underline{\alpha}^i)$. По каждому критерию составляется таблица испытаний, в которой значения $\Phi_v(\underline{\alpha}^1), \dots, \Phi_v(\underline{\alpha}^N)$ расположены в порядке возрастания. Локальный критерий или критерий оптимальности определяется здесь как числовая характеристика, которая связана с качеством технического объекта (ПНУ) монотонной зависимостью.

Второй этап – выбор критериальных ограничений – предполагает вмешательство конструктора. Рассматривая поочередно каждую из таблиц, он должен назначить ограничения Φ_v^{**} . Конструктор заинтересован в уменьшении этих значений, однако если выбрать все Φ_v^{**} слишком малыми, то множество допустимых точек D может оказаться пустым.

Результатом ввода критериальных ограничений и продолжения поиска (этап 3) является область компромиссов или компромиссная «кривая», на которой расположены так называемые не улучшаемые паретовские модели (улучшение одного из критериев неизбежно влечет ухудшение других). Получив достаточно представительное множество моделей, оптимальных по Парето, конструктор приступает к его анализу, конечная цель которого – выявление наиболее предпочтительных (оптимальных) моделей.

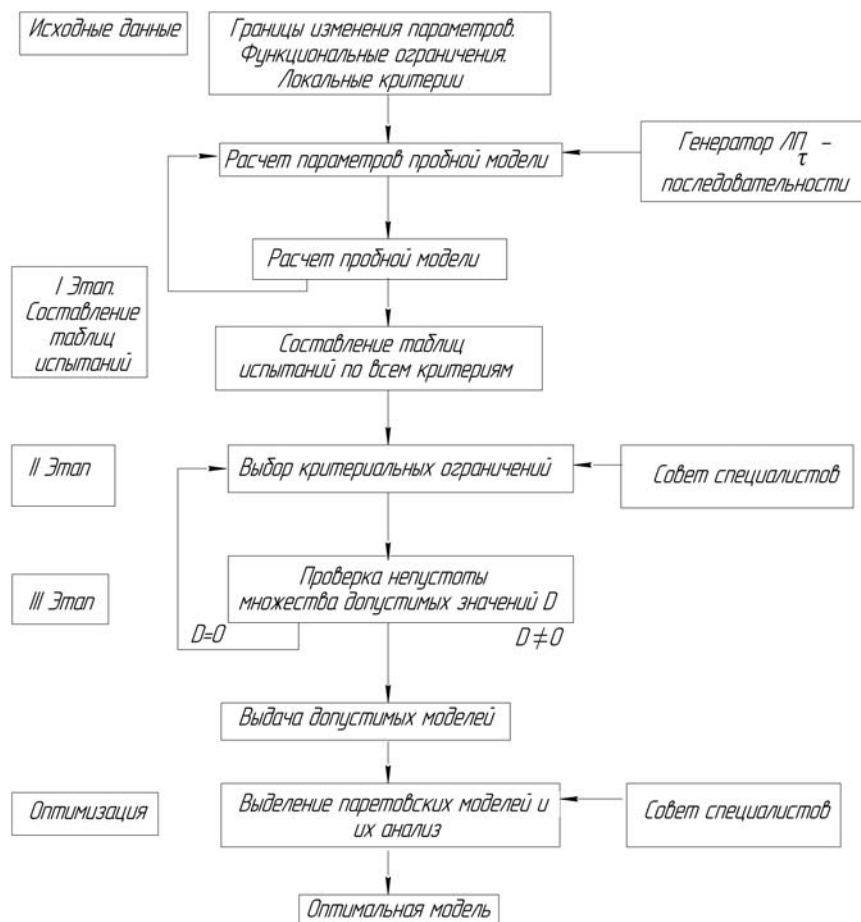


Рис. 3. Схема алгоритма многокритериальной оптимизации

Однако далеко не всякое паретовское решение устраивает конструктора. Именно поэтому принципиально важно построить содержательное (представительное) паретовское множество решений, из анализа которого конструктор (Совет специалистов) в дальнейшем определит оптимальную модель.

В результате постановки вычислительного эксперимента и решения задачи многокритериальной оптимизации было получено несколько паретооптимальных вариантов моделей ПНУ [5], выбор из которых стал возможен при использовании различных схем компромисса [16], когда приоритет устанавливается за вариантом ПНУ, имеющим улучшение показателей по большинству критериев оптимальности.

Заключение

Методика функционального проектирования ПНУ УЭС представляет собой комплекс мероприятий, суть которых представлена в перечисленных ниже положениях-рекомендациях.

1. Проектировать параллельно оба ПНУ УЭС на основе ФММ анализа и оптимизационного синтеза, корректируемых с учетом влияния режимов эксплуатации.

2. В ФММ учитывать влияние окружающей среды, структуру и параметры гидротрибы, механизма навески, а также параметры навешиваемых адаптеров.

3. Решать задачи анализа [4] и синтеза [5] ПНУ последовательно, с учетом усложнения требований конкретных режимов эксплуатации.

4. Расчет выходных параметров ПНУ в составе МТА для режимов эксплуатации вести в следующей последовательности:

- подъем навесной машины из рабочего положения в транспортное [4];
- опускание навесной машины;
- рабочие режимы, в том числе одновременная эксплуатация УЭС с одним [12] и с двумя работающими ПНУ;
- транспортный переезд с навесным оборудованием в транспортном положении [13].

5. Параметры (коэффициенты) в уравнениях, представленные в задачах анализа, должны идентифицироваться по результатам стендовых и лабораторно-полевых испытаний ПНУ.

6. Использовать в процессе проектирования анализ современных конструкций ПНУ и результаты патентного поиска.

7. В целом процесс функционального проектирования ПНУ организовать как последовательность итераций, циклов-триад: анализ – принятие решения – синтез, выполняемых специалистом в диалоге с ПЭВМ.

Усовершенствованная методика функционального проектирования ПНУ УЭС может быть использована в качестве основы для модернизации проектирования идентичных по структуре ПНУ колесных тракторов, в том числе марки «Беларус».

Литература

1. Попов, В. Б. Автоматизированное проектирование механизма навески переднего подъемно-навесного устройства универсального энергосредства / В. Б. Попов // Механизация и электрификация сельского хоз-ва. – 2008. – Вып. 42. – С. 3–12.
2. Навесное устройство мобильного энергетического средства : пат. 7496 Респ. Беларусь, МПК А 01 В 59/06 / В. Б. Попов ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № U2101085 ; заявл. 31.12.2010 ; опубл. 2011 // Офици. бюл. / Нац. центр интелект. собственности. – 2011. – № 4. – С. 154.
3. Гуськов, В. В. Тракторы. Ч. III. Конструирование и расчет / В. В. Гуськов, И. П. Ксеневич. – Минск : Выш. шк., 1981. – 383 с.
4. Попов, В. Б. Анализ агрегатирования универсального энергетического средства УЭС 290/450 «Полесье» с навесным кормоуборочным комбайном КНК-500 / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2012. – № 4. – С. 29–36.
5. Попов, В. Б. Параметрическая оптимизация подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства УЭС 290/450 «Полесье», агрегируемого с навесным кормоуборочным комбайном КНК-500 // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 1. – С. 35–43.
6. Попов, В. Б. К вопросу параметрической оптимизации подъемно-навесного устройства мобильного энергетического средства на стадии проектирования // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2014. – № 2. – С. 35–42.
7. Попов, В. Б. Развитие подъемно-навесных устройств универсальных энергетических средств / В. Б. Попов // Техника будущего: перспективы развития с.-х. техники : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2013. – С. 171–174.
8. ГОСТ 12.2.111–85. Машины сельскохозяйственные, навесные и прицепные. Общие требования безопасности.
9. Шуринов, В. А. Основы агрегатирования универсального мобильного энергетического средства с адаптерами различного назначения / В. А. Шуринов. – Гомель : Ин-т механики металлополимер. систем НАН Беларуси, 1999. – 392 с. : ил.

10. Амельченко, П. А. Агрегатирование тракторов «Беларусь» : учеб. пособие / П. А. Амельченко, Б. Я. Шнейсер, Н. Г. Шатуня. – Минск : Ураджай, 1993. – 302 с.
11. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с. : ил.
12. Попов, В. Б. Влияние параметров механизма навески и плуга на тягово-энергетические показатели пахотного агрегата / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 4. – С. 58–64.
13. Попов, В. Б. Влияние параметров мобильного сельскохозяйственного агрегата на некоторые характеристики плавности его хода в режиме транспортного переезда / В. Б. Попов, С. Ф. Андреев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2014. – № 1. – С. 39–44.
14. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля : учеб. пособие / Д. А. Чудаков. – М. : Колос, 1975. – 384 с.
15. Соболев, И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями : учеб. пособие для вузов / И. М. Соболев, Р. Б. Статников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Дрофа, 2006. – 175 с.
16. Попов, В. Б. Подсистема принятия решений при проектировании технических систем / В. Б. Попов, Т. В. Кадач // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 4. – С. 20–29.

Получено 26.09.2014 г.