

Развитие технологий ремонта лесозаготовительных машин с использованием передвижных ремонтных мастерских

Development of technologies for repairing timber harvesting machines with the use of mobile maintenance depot

П. И. Романов (P. Romanov)¹
e-mail: fta-romanov@yandex.ru
Санкт-Петербургская государственная
лесотехническая академия

АННОТАЦИЯ

Приводится описание результатов исследований по разработке технологии ремонта лесозаготовительных машин в условиях лесосеки с использованием сбалансированных манипуляторов.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, ремонт, сборка, сбалансированный манипулятор, передвижная ремонтная мастерская.

SUMMARY

Description is given of the results of research of the development of technologies for repairing timber harvesting machines with at harvesting sites with the help of balanced grips.

Keywords: timber harvesting machines, repair, assembly, balanced manipulator, mobile maintenance depot.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В ранее опубликованных работах [1-2] доказано, что важным фактором, влияющим на надежность лесозаготовительной техники, является организация ее ремонта. При этом завершающим этапом ремонта является сборка, и если обеспечить ее качество, то надежность лесозаготовительной машины по критериям безотказности и долговечности будет соответствовать уровню, обеспеченному на всех предыдущих стадиях ремонта. Установлено, что принятые в отрасли технологии сборки лесозаготовительных машин не обеспечивают качества сборки и нарушают требования безопасности работ. Поэтому предложена новая технология сборки, основанная на применении специально разработанного пневматического сбалансированного манипулятора с комбинированной позиционно-азиатической системой управления [3]. Эта технология позволяет обеспечить качество сборки лесозаготовительных машин и повысить, например, долговечность шарнирных соединений технологического

оборудования до трех раз. Важно отметить, что снятие или установка любого агрегата осуществляются одним оператором, при этом он прилагает усилие, не превышающее 30Н. Но технология разработана для ремонта техники в условиях гаражей, РММ и других стационарных объектов ремонтно-обслуживающей базы отрасли. В современных условиях при возрастающей удаленности лесосек от стационарных объектов ремонтно-обслуживающей базы становится экономически выгодным производить ремонт машин на месте их поломки агрегатным методом с использованием передвижных ремонтных мастерских. В этом случае спецификой ремонта техники в условиях лесозаготовок на Северо-Западе России является высокая вероятность его проведения при отрицательной температуре воздуха.

На основании вышесказанного сформулированы задачи исследования:

- Разработать структуру и конструкцию позиционно-азиатической системы управления пневматическими сбалансированными манипуляторами для работы в расширенном температурном диапазоне (до -25°C);
- Разработать математическую модель пневматического сбалансированного манипулятора предназначенного для ремонта машин в условиях лесосек, и вариант его технического решения.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проверки возможности использования сбалансированных манипуляторов с комбинированной системой управления для сборки при отрицательных температурах на кафедре ТЛМиР СПбГЛТА создана специальная термокамера. Предварительные испытания показали, что при отрицательной температуре воздуха нарушается стабильная работа электропневматического редукционного клапана, входящего в состав устройства управления. Поэтому предложена специальная структура позиционно-азиатического устройства управления для работы в расширенном температурном диапазоне (до -25°C). Так как в устройстве управления используется разработанный автором специальный редукционный клапан, то потребовалось проведение экспериментальных исследований с целью выбора его оптимальных параметров для работы в диапазоне температур воздуха от -25 до $+20^{\circ}\text{C}$. Для проведения эксперимента в соответствии с целью разработана экспериментальная установка, помещенная в термокамеру.

Оценка запаса устойчивости и быстродействия произведена по кривой переходного процесса при единичном входном воздействии. При решении задачи выбора оптимальных конструктивных параметров специального редукционного клапана в качестве целевой функции выбран минимум функции времени переходного процесса $t_{\Pi} = f(x_1, \dots, x_i)$, зависящей от конструктивных параметров устройства x_1, \dots, x_i . В качестве функции ограничения принята функция перерегулирования $\sigma = f(x_1, \dots, x_i) = 0$, а также кон-

¹ Автор – профессор кафедры технологии лесного машиностроения и ремонта, д.т.н.
© Романов П. И., 2005

структивные ограничения параметров задающего устройства. Для проведения активного эксперимента выбраны следующие факторы: диаметр входного дросселя $d_{ВХ}$, мм; диаметр выходного дросселя $d_{ВЫХ}$, мм; диаметр шарика $d_{Ш}$, мм; диаметр выходного сопла $d_{ВС}$, мм; ход штока $h_{ШТ}$, мм; жесткость пружины $k_{П}$, н/мм. Так, целью экспериментальных исследований является получение данных, необходимых для выбора оптимальных конструктивных параметров пневматического редукционного клапана, способного обеспечить работу сбалансированного манипулятора при температуре до -25°C , проведены четыре серии экспериментов при температурах $-25, -10, 0, +20^{\circ}\text{C}$. Согласно разработанному центральному композиционному ортогональному плану второго порядка, базирующемуся на дробном факторном эксперименте (2^{6-1}), для каждого опыта производилась сборка пневматического редукционного клапана управления с необходимыми сменными элементами. При проведении экспериментов проверка однородности дисперсий проводилась по критерию Фишера, проверка значимости коэффициентов модели – при помощи t -критерия Стьюдента, а проверка адекватности модели – с использованием F -критерия Фишера. После получения математических моделей исследуемых параметров осуществлялся переход к их натуральным величинам. Полученные уравнения регрессии использованы при проведении оптимизации.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что при прочих равных условиях повышение температуры воздуха с -25°C до $+20^{\circ}\text{C}$ приводит к повышению быстродействия редукционного клапана (длительность переходного процесса $t_{П}$ снижается) и одновременному повышению значения перерегулирования. При этом требуется найти оптимальные параметры специального редукционного клапана, позволяющего обеспечить качество работы устройства управления сбалансированного манипулятора в диапазоне температур от -25°C до $+20^{\circ}\text{C}$.

Поэтому в качестве целевой функции выбрано уравнение регрессии функции времени переходного процесса для температуры воздуха -25°C . В качестве функции ограничения принимаем уравнение регрессии функции перерегулирования соответствующее температуре $+20^{\circ}\text{C}$, значение которой должно быть равным нулю, так как при $\sigma > 0$ возможны произвольные колебания рабочего органа сбалансированного манипулятора, что нарушает требования правил безопасности. Также вводим конструктивные ограничения. Таким образом, получена целевая функция: $t_{П} = -1,15241 + 0,07835d_{ВХ} - 0,01417d_{ВЫХ} - 0,04514d_{Ш} + 0,31719d_{ВС} - 0,01214h_{ШТ} - 0,05735k_{П} - 0,00097d_{ВХ}d_{ВЫХ} - 0,00354d_{ВХ}d_{Ш} - 0,00345d_{ВХ}d_{ВС} + 0,00073d_{ВХ}k_{П} + 0,00067d_{ВЫХ}d_{Ш} - 0,00123d_{ВЫХ}d_{ВС} - 0,00012d_{ВЫХ}h_{ШТ} - 0,00137d_{ВЫХ}k_{П} + 0,00273d_{Ш}d_{ВС} + 0,00063d_{Ш}h_{ШТ} - 0,00204d_{Ш}k_{П} - 0,00009d_{ВС}h_{ШТ} - 0,00804d_{ВС}k_{П} + 0,00014h_{ШТ}k_{П} - 0,00612d_{ВХ}^2 + 0,00226d_{ВЫХ}^2$.

$$-0,01195d_{ВС}^2 + 0,00005h_{ШТ}^2 + 0,64402k_{П}^2 \rightarrow \min.$$

Ограничения:

$$\sigma = 33,4617 - 24,5928d_{ВХ} - 18,7893d_{ВЫХ} + 7,7899d_{Ш} + 21,3882d_{ВС} + 1,5591h_{ШТ} + 10,2199k_{П} + 0,1486d_{ВХ}d_{ВЫХ} + 0,1082d_{ВХ}d_{Ш} + 0,1216d_{ВХ}d_{ВС} + 0,1520d_{ВХ}h_{ШТ} + 0,7279d_{ВХ}k_{П} + 1,1336d_{ВЫХ}d_{Ш} - 2,0978d_{ВЫХ}d_{ВС} - 0,0714d_{ВЫХ}h_{ШТ} + 0,2575d_{ВЫХ}k_{П} - 1,0819d_{Ш}d_{ВС} - 0,0625d_{Ш}h_{ШТ} - 0,2005d_{Ш}k_{П} - 0,1410d_{ВС}h_{ШТ} + 0,0686d_{ВС}k_{П} - 0,1252h_{ШТ}k_{П} + 0,6979d_{ВХ}^2 - 0,0418d_{ВЫХ}^2 + 0,0731d_{Ш}^2 - 0,1429d_{ВС}^2 - 0,0020h_{ШТ}^2 - 9,6482k_{П}^2 = 0;$$

$$t_{П} > 0; \quad 1,0 < d_{ВХ} < 5,0; \quad 1,0 < d_{ВЫХ} < 5,0; \quad 6,0 < d_{Ш} < 14,0; \quad 3,0 < d_{ВС} < 7,0; \quad 15,0 < h_{ШТ} < 65,0; \quad 0,55 < k_{П} < 1,10.$$

Задача сводится к нахождению оптимальных $d_{ВХ}$, $d_{ВЫХ}$, $d_{Ш}$, $d_{ВС}$, $h_{ШТ}$, $k_{П}$, удовлетворяющих конструктивным ограничениям. Задача решена на ЭВМ при помощи пакета MathCAD2001Pro. В результате получены следующие значения:

$$d_{ВХ} = 1,62 \text{ мм}, \quad d_{ВЫХ} = 3,78 \text{ мм}, \quad d_{Ш} = 8,83 \text{ мм}, \quad d_{ВС} = 5,60 \text{ мм}, \quad h_{ШТ} = 62,0 \text{ мм}, \quad k_{П} = 0,80 \text{ н/мм}.$$

Для выбора оптимальных или рациональных параметров других элементов пневматического устройства управления сбалансированного манипулятора с комбинированным управлением и параметров пневматического привода необходимо разработать обобщенную математическую модель. При ее разработке наибольшую сложность представляет математическое моделирование процессов, происходящих в специальном редукционном клапане, так как произвести адекватное теоретическое описание динамических процессов, происходящих в дросселе «сопло-заслонка», невозможно. Поэтому, учитывая, что клапан устанавливается в управляющей ветви пневматической схемы сбалансированного манипулятора и поэтому его параметры не зависят от параметров исполнительного устройства сбалансированного манипулятора, целесообразно получить его экспериментальную математическую модель.

Эксперимент по построению математической модели специального редукционного клапана проведен в соответствии с методикой, представленной в работе [1]. Методика основана на анализе переходной характеристики исследуемого элемента системы управления. В результате получено дифференциальное уравнение специального клапана

$$T_2^2 \left(\frac{d^2 p_{ВЫХ}}{dt^2} \right) + T_1 \left(\frac{dp_{ВЫХ}}{dt} \right) + p_{ВЫХ} = k x_{ВХ},$$

где T_1, T_2 – постоянные времени, k – коэффициент передачи, $p_{ВЫХ}$ – давление на выходе клапана, $x_{ВХ}$ – перемещение штока клапана ($T_1 = 1,1 \times 10^{-2} \text{ с}$, $T_2 = 4,39 \times 10^{-3} \text{ с}$, $k = 1,905 \times 10^7 \text{ Па/м}$).

При использовании уравнения совместно с системой уравнений (5.1) – (5.14), представленной в работе [1],

получают обобщенную математическую модель СМ с пневматическим комбинированным управлением, предназначенным для эксплуатации в расширенном температурном диапазоне (до -25°C). Для проверки адекватности разработанной обобщенной математической модели и оценки точностных характеристик манипуляторов в диапазоне температуры воздуха от -25°C до $+20^{\circ}\text{C}$ проведена серия экспериментов. Исследования проводились по методике, разработанной в главе 6 работы [1] для исследования СМ с комбинированной системой управления.

Единственным дополнением методики является то, что все испытания повторяются для температур воздуха -25°C , -10°C , 0°C , $+20^{\circ}\text{C}$. Поэтому экспериментальная установка, созданная на базе сбалансированного манипулятора МПУ-100 с разработанным устройством управления, располагалась в специальной термокамере на кафедре технологии лесного машиностроения и ремонта Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что погрешность значений установившейся скорости при расчете по обобщенной модели не превышает 7,8%, 8,2%, 9,2%, 9,6% соответственно при температурах воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, 0°C , -10°C , -25°C . Погрешность расчетных значений времени разгона при данных температурах соответственно не превышает 15,4%, 15,9%, 17,6%, 18,5%. Погрешность расчетных значений времени торможения соответственно не более 16,5%, 16,7%, 18,4% и 18,9%. Таким образом, можно заключить, что экспериментальные результаты подтверждают адекватность обобщенной математической модели. Погрешность позиционирования при работе в позиционном режиме при температуре воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, 0°C , -10°C , -25°C не превышала соответственно следующих пределов $\pm 0,27$ мм, $\pm 0,28$ мм, $\pm 0,34$ мм, $\pm 0,36$ мм.

Разработка технического решения сбалансированного манипулятора, предназначенного для механизации сборки лесных машин с использованием передвижных ремонтных мастерских

При разработке технического решения учитывалось, что современные передвижные ремонтные мастерские оснащены краном-манипулятором. Поэтому предложено сбалансированный манипулятор выполнить в миниатюрном исполнении и оснастить его устройством быстрого соединения с краном-манипулятором. В этом случае с помощью сбалансированного манипулятора выполняются ориентирующие движения в процессе установки или снятия агрегата, а транспортировка его к месту ремонта или, наоборот, к месту установки обеспечивает кран-манипулятор. Новизна технического решения защищена Патентом на изобретение [4]. Изобретение решает задачу расширения технологических возможностей передвижных ремонтных мастерских.

ВЫВОДЫ

1. Разработан вариант структуры пневматического устройства управления сбалансированным манипулятором на основе позиционно-астатиического управления и автоматического уравнивания силы тяжести груза для механизации сборки лесозаготовительных машин при температуре до -25°C .
2. Разработанные обобщенные математические модели пневматических сбалансированных манипуляторов с комбинированным управлением, учитывающие процессы, происходящие в устройстве управления и пневматическом приводе, можно рекомендовать для анализа и синтеза манипуляторов, построенных по основным кинематическим схемам, которые в настоящее время используются в сбалансированных манипуляторах.
3. Использование на передвижных ремонтных мастерских миниатюрного сбалансированного манипулятора позволяет существенно расширить технологические возможности передвижных ремонтных мастерских и обеспечить качество сборки лесных машин при их ремонте на лесосеках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов П. И. Развитие научных основ механизации общей сборки технологического оборудования лесозаготовительных машин / П. И. Романов. СПб., 2001. 208 с.
2. Бакихин В. В. Сбалансированные манипуляторы для ремонтного обслуживания / В. В. Бакихин, А. Б. Кизилов, П. И. Романов, С. В. Викторенкова // Лесная промышленность, 1996. № 3. С. 22.
3. Романов П. И., Королев В. А., Аграновский С. Г. Сбалансированный манипулятор с ручным управлением. А. С. № 1618634, 08.09.90 г.
4. Романов П. И., Бакихин В. В., Викторенкова С. В., Павлов Л. А. Передвижная ремонтная мастерская. Патент на изобретение № 2210512.