

УДК 629.35.02.001.57

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ОПРОКИДЫВАНИЯ КАБИНЫ

**В.И. Клименко, проф., к.т.н., С.Н. Шуклинов, проф., д.т.н., М.Ю. Залогин, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

Аннотация. Выполнено экспериментальное исследование гидравлического механизма опрокидывания кабины автомобиля КамАЗ-55111. Приведены результаты экспериментального и теоретического исследования. Выполнена количественная оценка энергетических затрат при опрокидывании кабины. Проанализирован способ рекуперации потенциальной энергии кабины.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, опрокидывание кабины, грузовой автомобиль, энергетические затраты, рекуперация энергии.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРЕКИДАННЯ КАБІНИ

**В.І. Клименко, проф., к.т.н., С.М. Шуклінов, проф., д.т.н., М.Ю. Залогін, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Виконано експериментальне дослідження гідрравлічного механізму перекидання кабіни автомобіля КамАЗ-55111. Наведено результати експериментального й теоретичного дослідження. Виконано кількісну оцінку енергетичних витрат при перекиданні кабіни. Проаналізовано спосіб рекуперції потенційної енергії кабіни.

Ключові слова: експериментальне дослідження, перекидання кабіни, вантажний автомобіль, енергетичні витрати, рекуперация энергии.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE HYDRAULIC MECHANISM OF CAB TILT

**V. Klimenko, Prof., Ph. D. (Eng.), S. Schuklinov, Prof., D. Sc., (Eng.),
M. Zalugin, P. G., Kharkiv National Automobile and Highway University**

Abstract. Experimental research of the hydraulic truck cab tilt mechanism is carried out. Results of experimental and theoretical research are given. The quantitative estimation of energy expenditures at truck cab tilt is carried out. The method of recuperation of potential truck cab energy is analyzed.

Key words: experimental research, truck cab, energy expenditure, energy recuperation.

Введение

Для опрокидывания кабины чаще всего используется гидравлический насос ручного типа, а управляющим сигналом является усилие на приводной рукоятке, формируемое человеком (оператором) [1].

Возникающие проблемы, как на стадии проектирования, так и при эксплуатации меха-

низма опрокидывания кабины, связаны с затратами энергии человека в режиме опрокидывания кабины. В этой связи при проектировании механизма опрокидывания кабины как элемента системы «человек-машина» для повышения эффективности работы всей системы необходимо учитывать как особенности рабочего процесса механизма, так и особенности работы человека (оператора). При этом улучшение эксплуатационных свойств

возможно путем уменьшения затрачиваемой энергии человека при управлении процессом опрокидывания кабины. Уменьшение затрачиваемой энергии человека возможно путем совершенствования рабочего процесса, а именно:

- совершенствования процесса создания управляющего усилия;
- совершенствования процесса передачи энергии;
- совершенствования процесса выполнения полезной работы.

Анализ публикаций

При проектировании гидравлического механизма опрокидывания кабины руководствуются нормативным документом [2]. Однако существующий стандарт регламентирует только максимальное усилие на рукоятке, что не в полной мере определяет требования к эргономическим параметрам и, в частности, не регламентирует требования к рабочему месту оператора. Следует отметить, что в Украине нет государственных стандартов, регламентирующих требования к гидравлическим механизмам опрокидывания кабин.

Цель и постановка задачи

Целью работы является получение экспериментальных данных рабочего процесса механизма опрокидывания кабины и сравнение их с результатами теоретических исследований.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка программы и методики экспериментального исследования;

- создание экспериментального образца гидравлического насоса механизма опрокидывания кабины;
- выполнение комплекса экспериментальных исследований, предусмотренных программой;
- обработка и анализ результатов экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования гидравлического механизма опрокидывания кабины проводились на базе серийно выпускаемого автомобиля КамАЗ-55111 (2004 г. в.), находящегося в автохозяйстве ХНАДУ. Типовое расположение элементов механизма опрокидывания кабины и рабочее место оператора представлены на схеме (рис. 1).

Гидравлический механизм опрокидывания кабины, применяемый на исследуемом образце, включает:

- гидроцилиндр двухстороннего действия с возможностью компенсации кинематического хода подвески кабины, за счет продольного отверстия, выполненного в проушине штока (диаметр поршневой полости – 0,04 м, диаметр штока – 0,02 м, полный ход штока – 0,18 м);
- гидравлический насос 9645–5004010 (диаметр поршня – 0,02 м, рабочий ход поршня – 0,02 м, объем подачи за цикл – 6,9 см³);
- трубопроводы высокого давления с внутренним диаметром 0,005 м.

Ось опрокидывания кабины расположена в передней части кабины и жестко закреплена на раме. Задняя часть кабины поддрессорена [3].



Рис. 1. Общая схема расположения элементов гидравлического механизма опрокидывания кабины и рабочее место оператора

Кинематика механизма опрокидывания кабины обеспечивает движение центра масс кабины через положение неустойчивого равновесия.

Положение неустойчивого равновесия соответствует области расположения центра масс кабины вблизи вертикальной оси, проходящей через ось ее поворота O . В связи с этим различают движение кабины до положения неустойчивого равновесия и после.

Для измерения и регистрации измеряемых параметров гидравлический механизм опрокидывания кабины был оснащен измерительной аппаратурой и регистрирующим комплексом, состоящим из блока обработки сигналов (БОС) и переносного компьютера Notebook DELL D830 (рис. 2 и 4).

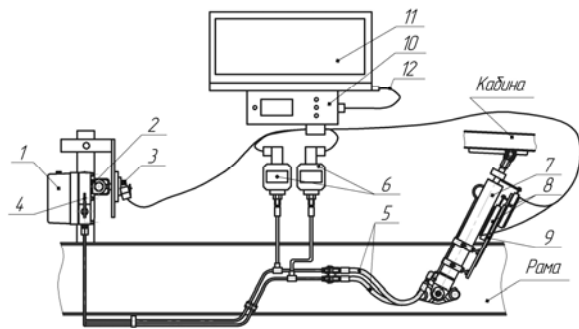


Рис. 2. Схема гидравлического механизма опрокидывания кабины с измерительной аппаратурой и регистрирующим комплексом: 1 – насос с ручным приводом; 2 – приводной вал насоса; 3 – датчик угла поворота приводного вала; 4 – рукоятка распределителя насоса; 5 – рукава высокого давления; 6 – датчики давления; 7 – гидроцилиндр; 8 – датчики перемещения штока гидроцилиндра; 9 – подвижная направляющая датчиков; 10 – блок обработки сигналов; 11 – переносной компьютер; 12 – кабель COM – порта

Для измерения мускульного усилия человека была разработана специальная конструкция рукоятки (рис. 3).

Методикой проведения экспериментального исследования гидравлического механизма опрокидывания кабины предусматривалась регистрация в режиме реального времени следующих параметров:

- усилия на рукоятке;
- угла поворота приводного вала насоса;

- давлений в поршневой и штоковой полостях;
- перемещения штока гидроцилиндра.

Фиксация перечисленных параметров выполнялась с промежутком времени между смежными измерениями $\Delta t = 0,0062$ с.

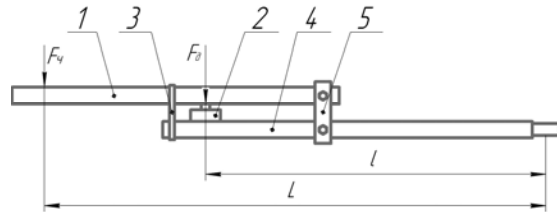


Рис. 3. Конструктивная схема рукоятки: 1 – рычаг; 2 – датчик усилия; 3 – пластиковая лента; 4 – основание; 5 – серьга; $F_ч$ – усилие человека; $F_д$ – усилие на датчике

При проведении экспериментального исследования применялись следующие датчики и преобразователи:

- для преобразования измерения усилия воздействия на рукоятку в электрический сигнал применялся тензорезисторный датчик модели LPX 50;
- измерение давления в гидроприводе выполнялось тензометрическим датчиком давления КРТ-7 с верхним пределом давления 160 бар;
- для измерения угла поворота приводного вала насоса применялся датчик положения дроссельной заслонки 2112-1148200, предназначенный для автомобилей семейства ВАЗ;
- для измерения перемещения штока гидроцилиндра были применены два прецизионных потенциометрических датчика модели CLP 13-100 с максимальным измеряемым перемещением 100 мм. В связи тем, что максимальное перемещение штока превышает предел измерения датчика, использовались два датчика CLP 13-100, установленных последовательно на подвижной направляющей (рис. 2). Расположение измерительно-регистрирующего комплекса и его компонентов представлено на рис. 4.

Информация, полученная с датчиков, хранится в файле с расширением *.log. Для обработки и анализа динамических зависимостей в функции от параметров механизма опрокидывания кабины данные импортировались в файл формата MS Excel.



Рис. 4. Расположение компонентов и измерительно-регистрирующего комплекса при исследовании гидравлического механизма опрокидывания кабины: 1 – рукоятка; 2 – датчик усилия; 3 – насос; 4 – датчик угла поворота приводного вала насоса; 5 – гидроцилиндр; 6 – датчики перемещения штока гидроцилиндра; 7 – вентиль; 8 – датчик давления; 9 – ноутбук; 10 – БОС

Согласно программе проведения экспериментальных исследований гидравлического механизма опрокидывания кабины сначала выполнялись исследования параметров рабочего процесса с серийно устанавливаемым гидравлическим насосом 9645-5004010 (рис. 4, поз. 3). Затем были проведены экспериментальные исследования с разработанным гидравлическим насосом ХАДИ 11.5004100 [4]. Опытный образец был изготовлен на ПАО «Волчанский агрегатный завод».

В качестве рабочей жидкости применялось полусинтетическое масло Лукойл ATF DEXRON III (ТУ 0253-030-00148599-2005).

На исследуемом автомобиле КамАЗ-55111 для рекуперации потенциальной энергии кабины применяются упругие элементы в виде

торсионных валов (рис. 5), расположенные возле оси поворота кабины.

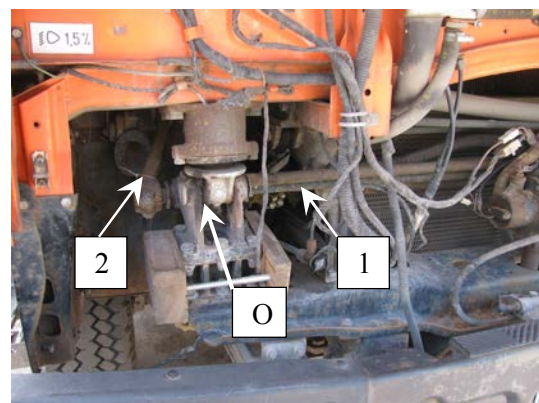


Рис. 5. Расположение торсионных валов на автомобиле КамАЗ-55111: 1 – торсионный вал; 2 – рычаг торсионного вала; O – ось поворота кабины

Для оценки влияния работы торсионных валов на затрачиваемую энергию человека были проведены несколько экспериментальных исследований процесса опрокидывания и опускания кабины:

- с включением в работу торсионных валов;
- без включения в работу торсионных валов.

Параметры рабочего процесса гидравлического механизма опрокидывания кабины выполнялись при воздействии на рукоятку с частотой возвратно-поступательных движений 1 Гц.

Результаты экспериментальных исследований

При проведении экспериментального исследования установлено, что процесс опрокидывания кабины состоит из нескольких временных интервалов: времени опрокидывания кабины до положения неустойчивого равновесия $t_{\text{опр}}$ и времени запрокидывания кабины после положения неустойчивого равновесия – $t_{\text{запр}}$ (рис. 6).

Движение кабины до положения неустойчивого равновесия осуществляется в результате углового перемещения рукоятки насоса на угол α , что вызывает соответствующее движение поршня насоса (рис. 6). При этом период T воздействия на рукоятку состоит из двух фаз, длительность которых разная. Фаза нарастания усилия характеризует процесс нагнетания рабочей жидкости в полость гидроцилиндра механизма опрокидывания кабины и определяется значением t_n . Фаза снижения усилия характеризует процесс движения рукоятки насоса во время заполнения рабочей жидкостью поршневой полости насоса и определяется значением $t_{\text{вс}}$. Полное время опрокидывания определяется частотой воздействия на приводную рукоятку насоса.

Опрокидывание кабины с включенными в работу торсионными валами

Установлено, что для опрокидывания кабины автомобиля КамАЗ-55111 необходимо от 55 до 60 возвратно-поступательных движений рукоятки с максимальным усилием 200 Н.

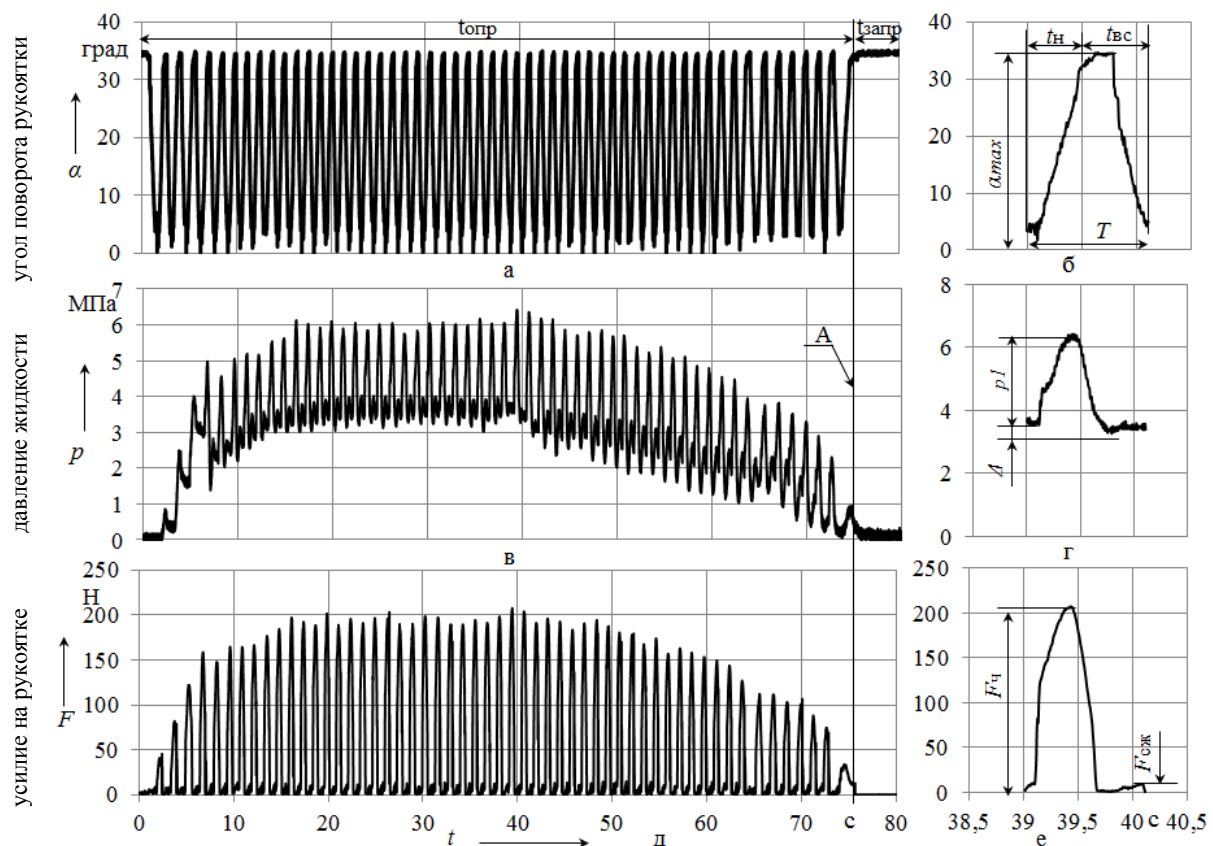


Рис. 6. Экспериментальная характеристика гидравлического механизма опрокидывания кабины автомобиля КамАЗ-55111: а – зависимость $\alpha(t)$ и ее фрагмент б; в – зависимость $p(t)$ и ее фрагмент г; д – зависимость $F(t)$ и ее фрагмент е; А – положение неустойчивого равновесия

Усилие на рукоятке, формируемое человеком (рис. 3 и 4 поз. 2), определяется величиной сигнала с датчика усилия и принимает значение $F_{\text{ч}}$ (рис. 6, е).

Когда измерительная рукоятка находится в неподвижном состоянии, величина сигнала с датчика усилия может принимать значение $F_{\text{сж}}$. Значение усилия $F_{\text{сж}}$ определяется усилием предварительного сжатия пластиковой ленты (рис. 3). Данное обстоятельство вызвано конструкцией измерительной рукоятки.

Создаваемое давление в гидроприводе p при опрокидывании кабины изменяется пропорционально нагрузке, действующей на шток гидроцилиндра на величину Δp (рис. 6, г). Во время нагнетания жидкости давление в гидросистеме может изменяться на величину p_1 , вследствие изменения скорости прикладываемого усилия к рукоятке. При проведении

эксперимента давление рабочей жидкости не превышало 6 МПа (60 бар).

Опрокидывание кабины без включения в работу торсионных валов

Для опрокидывания кабины без включения в работу торсионных валов были отсоединены два рычага, взаимодействующие с торсионными валами через шлицевое соединение (рис. 5). В результате проведения экспериментального исследования и обработки массива данных были построены зависимости, представленные на рис. 7.

Установлено, что для опрокидывания кабины до положения неустойчивого равновесия необходимо 85 возвратно-поступательных движений рукоятки с максимальным усилием 415 Н.

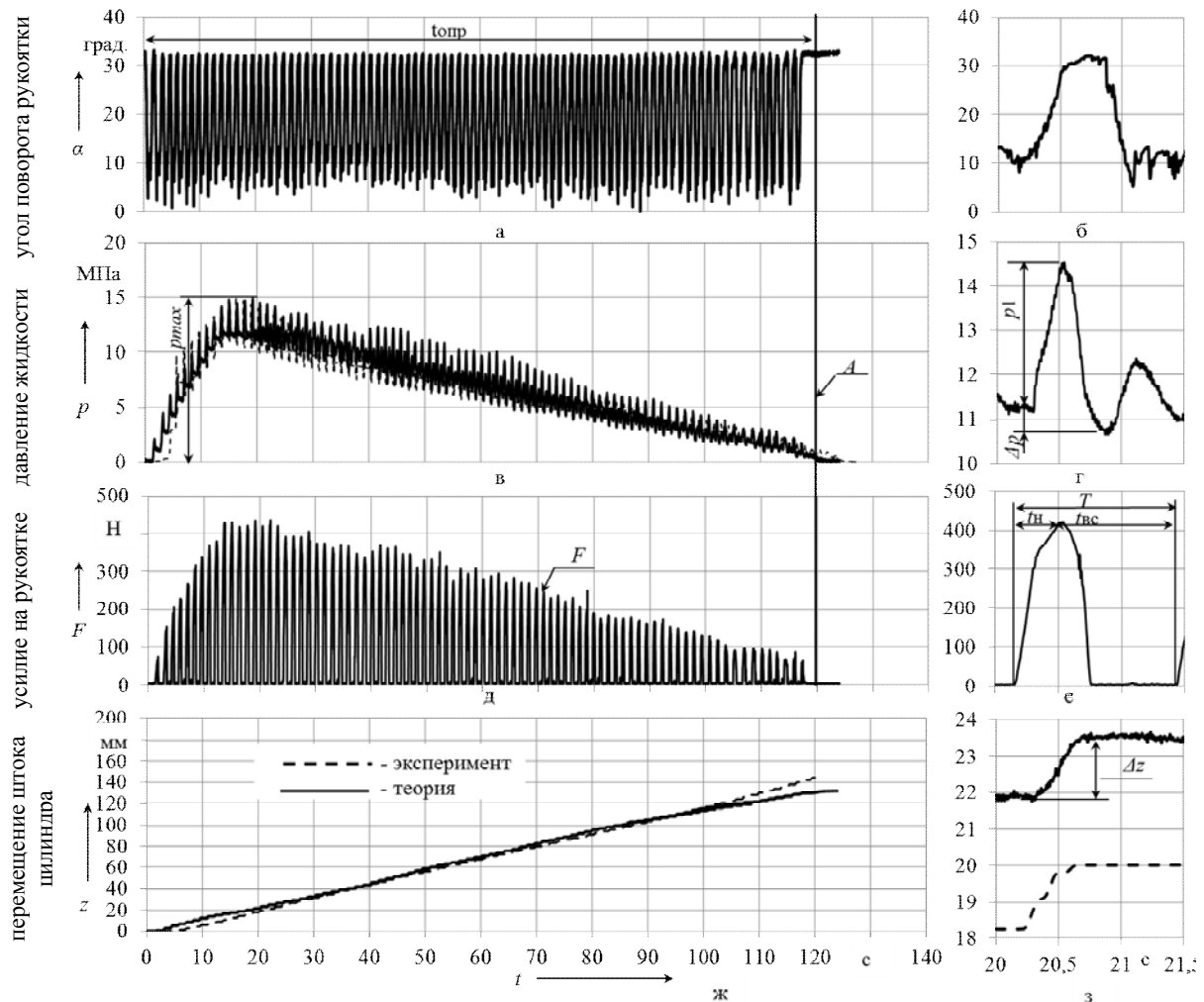


Рис. 7. Экспериментальная характеристика гидравлического механизма опрокидывания кабины автомобиля КамАЗ-55111 без включения в работу упругих элементов: а – зависимость $\alpha(t)$ и ее фрагмент б; в – зависимость $p(t)$ и ее фрагмент г; д – зависимость $F(t)$ и ее фрагмент е; ж – зависимость $z(t)$ и ее фрагмент з; А – положение неустойчивого равновесия

При этом максимальное давление рабочей жидкости достигает значения 15 МПа (150 бар).

Следует отметить, что характер зависимости $p(t)$ в начальный момент опрокидывания кабины имеет ступенчато-линейную характеристику, стремящуюся вверх. Объясняется это тем, что в момент срабатывания кабины с места на процесс опрокидывания кабины влияет усилие предварительного сжатия упругого элемента задней подвески кабины. Затем характер зависимости $p(t)$ приобретает ступенчато-линейную характеристику, стремящуюся вниз. При этом значение давления в каждый момент времени изменяется пропорционально нагрузке, действующей на шток гидроцилиндра.

Движение кабины характеризует зависимость перемещения штока гидроцилиндра $z(t)$ от времени опрокидывания. На рис. 7 видно, что зависимость $z(t)$, до положения неустойчивого равновесия, имеет ступенчато-линейную характеристику. Перемещение штока за период T определяется величиной Δz (рис. 7, з). При этом количество ступеней равно количеству повторяющихся периодов T .

Для оценки эксплуатационных свойств гидравлического механизма опрокидывания кабины были выполнены экспериментальные исследования с разработанным насосом ХАДИ 11.5004100, представленным на рис. 8. Техническая характеристика насоса приведена в табл. 1.

Таблица 1 Техническая характеристика насоса ХАДИ 11.5004100

1. Рабочее давление	25 МПа
2. Максимальное давление	32 МПа
3. Емкость бака	0,6 дм ³
4. Объем подачи за цикл	3,8 см ³
5. Рабочая температура	-50 + 80 °С

Экспериментальные исследования работы гидравлического насоса ХАДИ 11.5004100 были проведены при включенных в работу торсионах. Результаты исследования приведены на рис. 9.

Установлено, что для опрокидывания кабины необходимо 107 возвратно-поступательных движений рукоятки с максимальным развиваемым усилием на ней 100 Н (рис. 9, д). Благодаря измененному рабочему объему

насоса его можно использовать при более массивной кабине, о чем свидетельствует необходимый запас по усилию.

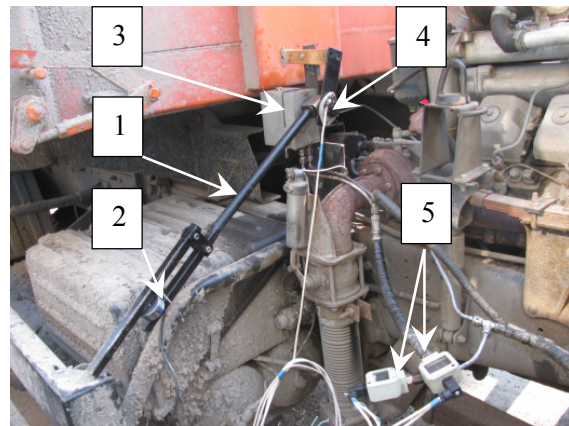


Рис. 8. Расположение компонентов измерительного комплекса при исследовании гидравлического механизма опрокидывания кабины с насосом ХАДИ 11.5004100: 1 – рукоятка; 2 – датчик усилия; 3 – насос; 4 – датчик угла поворота приводного вала насоса; 5 – датчики давления

Следует отметить, что величина усилия на рукоятке $Fч$ может определяться значениями $Fп$ и $Fу$ (рис. 9, е). При этом значение усилия $Fу$ определяется моментом упора приводного пальца в ограничитель угла, выполненного в виде паза в корпусе, и в формировании давления не участвует.

Для опускания кабины из запрокинутого положения в транспортное необходимо установить рукоятку распределителя насоса в режим «опускание кабины». Движение кабины до зоны неустойчивого равновесия управляется возвратно-поступательным движением рукоятки насоса.

Развиваемое усилие на рукоятке определяется значением 140 Н, а рабочее давление в гидроприводе не превышает 9 МПа. При этом угол поворота приводного вала насоса в обоих случаях составляет $\alpha_{\max} = 50$ град., что соответствует значению угла, заложенного при разработке конструкторской документации.

Движение кабины после положения неустойчивого равновесия в транспортное положение происходит под действием силы тяжести кабины. При этом скорость опускания кабины не должна превышать максимально допу-

стимой величины, указанной в документе [2]. Для этого в гидравлическом приводе применяют дроссели с необходимым проходным

сечением, рассчитанным с учетом параметров механизма опрокидывания кабины.

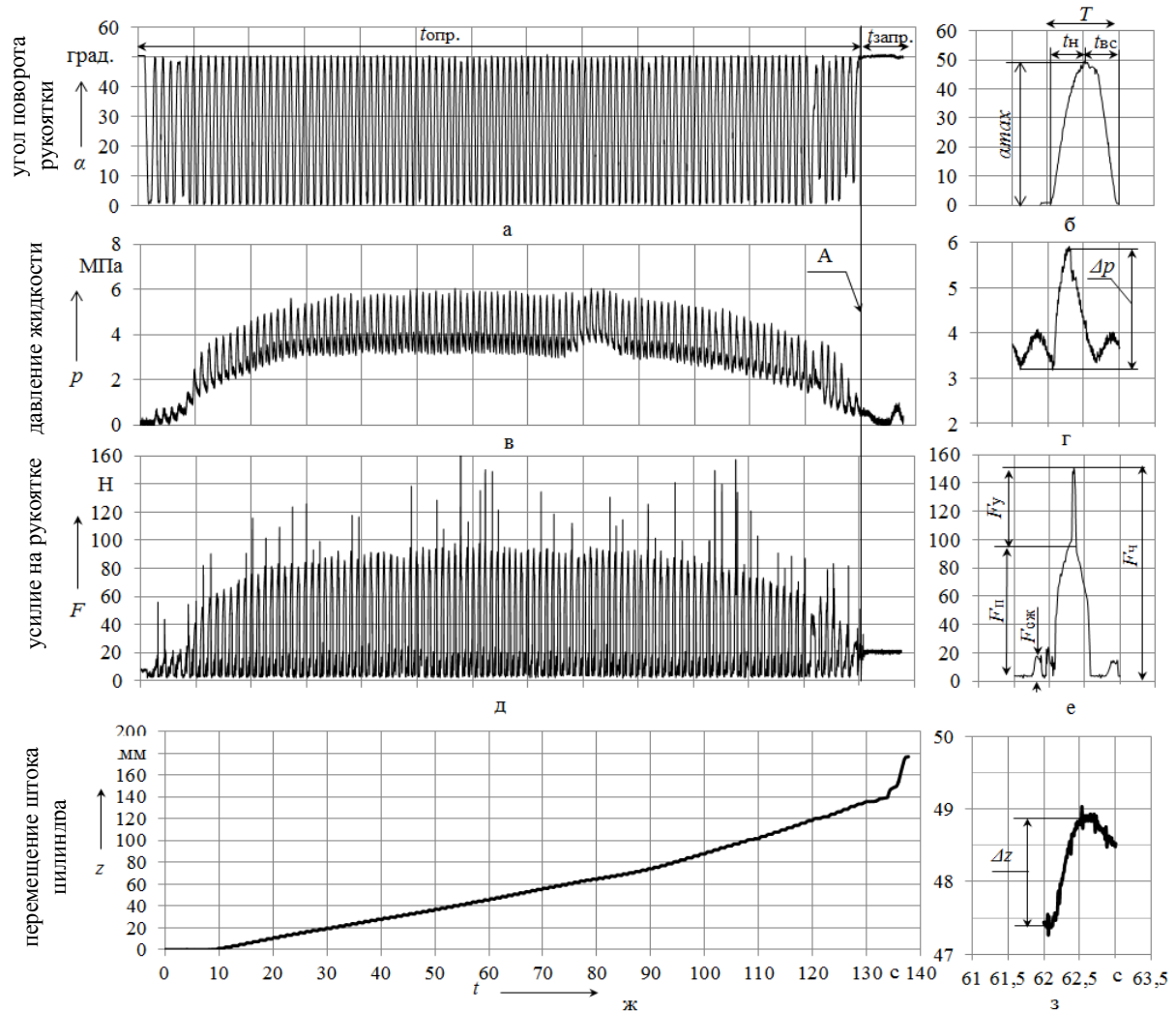


Рис. 9. Экспериментальная характеристика гидравлического механизма опрокидывания кабины с насосом ХАДИ 11.5004100: а – зависимость $\alpha(t)$ и ее фрагмент б; в – зависимость $p(t)$ и ее фрагмент г; д – зависимость $F(t)$ и ее фрагмент е; ж – зависимость $z(t)$ и ее фрагмент з; А – положение неустойчивого равновесия

Оценку эксплуатационных свойств механизма опрокидывания кабины с насосом ХАДИ 11.5004100, а также влияние работы упругого элемента (торсиона) целесообразно выполнить, определив энергию и мощность, затрачиваемые человеком при опрокидывании кабины. В этой связи были построены графики зависимостей затрачиваемой энергии и развиваемой человеком мощности в течение времени опрокидывания кабины (рис. 10). Следует отметить, что теоретическое исследование гидравлического механизма опрокидывания кабины выполнено с учетом математического описания, представленного в работе [5]. При сравнении с ре-

зультатами экспериментального исследования относительная погрешность не превышает 10 % (рис. 7, 10).

Приведенные энергетические характеристики свидетельствуют о том, что при использовании упругого элемента (торсиона) возможно снизить усилие на рукоятке насоса вдвое, а также сократить время опрокидывания кабины на 34 % (Δt_1). Также видно, что энергетические затраты человека уменьшились на 46 %, а подведенная мощность – на 37,5 %. Установлено, что КПД гидравлического механизма опрокидывания кабины не превышает значения 0,3.

Следует отметить, что при опрокидывании кабины при помощи насоса ХАДИ 11.5004100, с включением в работу торсионов, развиваемая мощность снизилась на 30 %. При этом энергия, затрачиваемая человеком, увеличилась на 22 % (кривые 5 и 6).

Однако при опрокидывании кабины без включения в работу торсионов снизились: затрачиваемая энергия – на 8 % (ΔE) и время

опрокидывания кабины – на 18 % (Δt_2), по сравнению с серийно устанавливаемым насосом 9545-5004100.

Это подтверждает то, что при определении параметров насоса необходимо не только руководствоваться максимальным усилием на рукоятке, оговоренным в [2], но и учитывать энергетические критерии гидравлического механизма опрокидывания кабины.

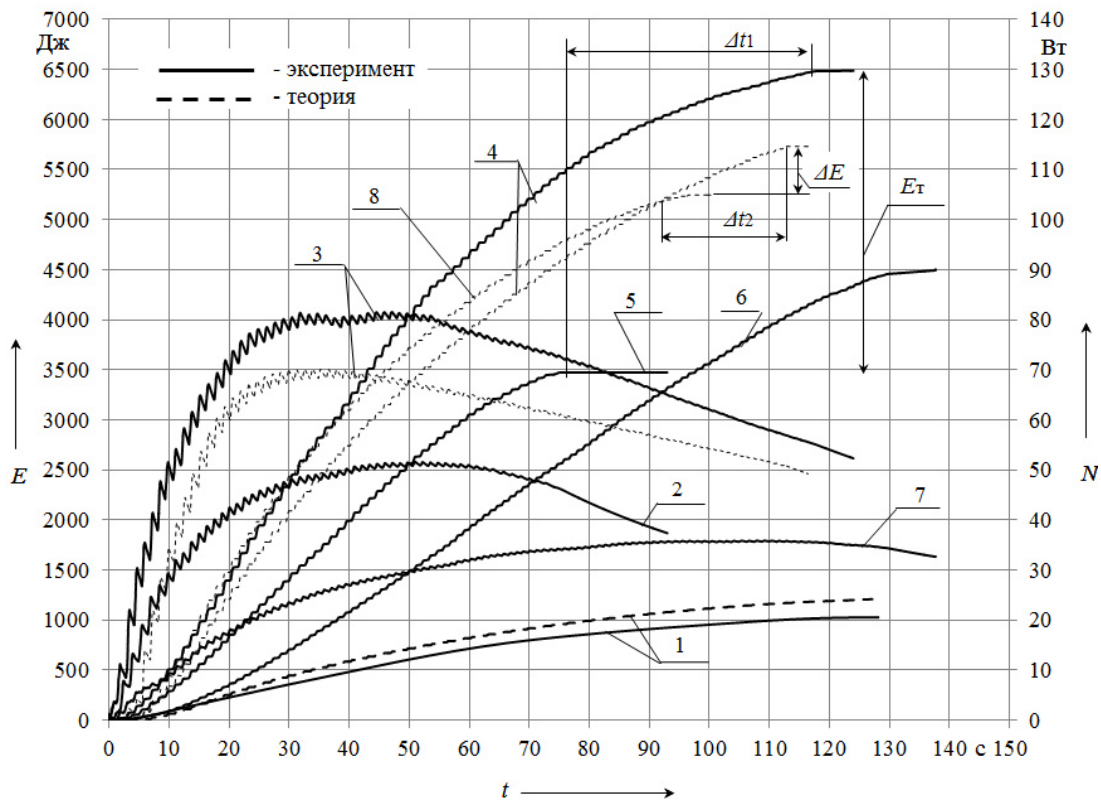


Рис. 10. Зависимость затрачиваемой энергии и мощности человека на рукоятке насоса от времени опрокидывания кабины автомобиля КамАЗ-55111: 1 – полезная работа при опрокидывании кабины; 2 – развиваемая мощность человека при включенных в работу торсионах; 3 – развиваемая мощность человека при выключенных торсионах; 4 – затрачиваемая работа человека при выключенных торсионах; 5 – затрачиваемая работа человека при включенных торсионах; 6 – затрачиваемая работа человека при использовании насоса ХАДИ 11.5004100; 7 – развиваемая мощность человека при использовании насоса ХАДИ 11.5004100; 8 – затрачиваемая работа человека при использовании насоса ХАДИ 11.5004100 при выключенных торсионах; E_t – энергия рекуперации упругого элемента (торсиона)

В этой связи на кафедре автомобилей ХНАДУ ведутся исследования по улучшению эксплуатационных свойств гидравлического механизма опрокидывания кабины.

Выводы

На основании полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что при использовании упругого элемента (торсиона) возможно снизить усилие на рукоятке насоса вдвое, а также сократить время опрокидывания кабины на 34 %. Также удастся снизить энергетические затраты человека на 46 %, а подводенную мощность – на 37,5 %.

2. Разработанная унифицированная конструкция насоса с ручным приводом ХАДИ 11.5004100 может быть применена на транс-

портных средствах категории N с различной массой кабины. Конструкция насоса позволяет использовать в гидравлическом приводе механизма опрокидывания кабины: гидроцилиндр с разобщенными полостями; гидроцилиндр с дифференциальным объединением полостей; гидравлический насос с электрическим приводом.

3. Установлено, что теоретическое исследование позволяет выполнить адекватную оценку влияния параметров рабочего процесса механизма опрокидывания кабины на энергетические затраты человека с относительной погрешностью 10 %.

4. Полученные результаты исследования могут быть полезны при проектировании гидравлического механизма опрокидывания кабины для вновь созданных конструкций кабин.

Литература

1. Аврунин Г.А. Анализ конструктивных особенностей объемных гидроприводов для подъема кабины / Г.А. Аврунин, В.А. Богомолов, В.И. Клименко и др. // Промислова гідроліка і пневматика: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2012. – № 1(35). – С. 86–98.
2. Автомобильные транспортные средства. Гидроцилиндры и насосы гидравлических механизмов опрокидывания кабин. Технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 53807-2010. – М.: Стандартиформ, 2010. – 17 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
3. Руководство по эксплуатации автомобилей КамАЗ-43253, 53229, 55111, 65115. – Набережные Челны. – 2004.
4. Пат. 87429 Україна, МПК F15B 15/00. Насос гідролічного механізму підйому кабіни / Богомолов В.О., Клименко В.І., Шуклінов С.М., Залогін М.Ю.; заявник і патентовласник Клименко В.І. – № u201309317; заявл. 25.07.2013; надр. 10.02.2014, Бюл. № 3, 4 с.
5. Шуклинов С.Н. Математическое описание динамических процессов гидравлического механизма опрокидывания кабины грузового автомобиля / С.Н. Шуклинов, М.Ю. Залогин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2015. – № 6 (1115). – С. 182–190.

Рецензент: В.Г. Солодов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 27 июля 2015 г.