

Предлагаемая последовательность действий отличается своей универсальностью и может быть использована для проектирования, расчётов и испытаний конструкций вставок безопасности разных конфигураций. Применение данного метода позволит сократить время проектирования конструкции, отвечающей предъявляемым к ней требованиям, а также оценить её надёжность, в том числе, на стадии проектирования.

Отличительными особенностями данного метода являются:

- возможность на стадии проектирования оценить несущую способность вставки безопасности из гиперупругого композиционного материала;
- наличие оптимизационного цикла, который позволяет получить конструкцию движителя минимальной массы при заданной несущей способности;
- возможность оценить «живучесть» конструкции;
- метод предполагает проведение эксперимента.

Выводы

Таким образом, в результате проделанной работы предлагается метод создания колёсных вставок безопасности для военного и гражданского автотранспорта. Данный метод позволяет на основе анализа исходных данных технического задания произвести синтез модели вставки безопасности с оптимальной геометрией и последующее создание подробной трёхмерной модели конструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Литература

1. Полонский В.А., Шипилов В.В. и др. Тенденции развития зарубежной военной автомобильной техники – М.: Редакционно-издательский центр Министерства Обороны РФ, 2005. – 176 с.
2. Еремин Г.П., Карташов А.Б. Обзор и анализ современных конструкций колёсных вставок безопасности // Журнал Ассоциации Автомобильных Инженеров, вып. №1 (90) 2015.
3. Л. Трелоар. Физика упругости каучука – М.: Издательство иностранной литературы, 1953. – 240 с.
4. Белкин А.Е., Даштиев И.З., Хоминич Д.С. Анализ статического нагружения амортизатора специального назначения из полиуретана // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – Спец. вып. 6. - 2012. – С. 13-26.
5. Ansys Workbench User's Guide// Ansys, Inc. Release 12.1: сайт. Ноябрь 2009. URL: http://orange.engr.ucdavis.edu/Documentation12.1/121/wb2_help.pdf.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. –480 с.
7. Еремин Г.П., Карташов А.Б., Смирнов А.А. Экспериментальное исследование тепловой нагруженности безопасных колес // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №4. 2015. – С. 49-56.

Методика повышения надежности гидравлической системы карьерных автосамосвалов

Кузнецов А.В., Шальков А.В.
Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске,
Barsk-81@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема безотказной работы гидравлической системы карьерных автосамосвалов, которые эксплуатируются в континентальных климатических условиях. Для анализа негативных факторов, влияющих на работу гидравлической системы в целом, был использован системный подход описания проблемы, основывающийся на методологии структурного анализа SADT. В ре-

зультате выявлено, что основным негативным фактором является нестабильность кинематической вязкости рабочей жидкости в широком диапазоне температур окружающей среды. Разработана методика корректировки кинематической вязкости рабочей жидкости в зависимости от температуры окружающей среды и методика повышения надежности гидравлической системы карьерных автосамосвалов.

Ключевые слова: надежность, гидравлическая систем, гидравлическое масло, карьерный автосамосвал, шестеренный насос, кинематическая вязкость, нестабильность.

В настоящее время в Кузбассе при добыче угля в основном применяется открытый способ. При транспортировке горных масс и полезных ископаемых используются карьерные автосамосвалы. В условиях континентального климата Кемеровской области техника работает в широком диапазоне температур окружающей среды, что негативно влияет на безотказность работы систем карьерных автосамосвалов, в частности, гидросистем рулевого управления и подъема-опускания платформы.

Одним из основных элементов гидросистем карьерного автосамосвала является шестеренный насос типа НШ, предназначенный для нагнетания рабочей жидкости к исполнительным механизмам, а именно, к рулевому управлению и механизму подъема-опускания платформы автосамосвала. Данные насосы подвергаются воздействию различных факторов: климатические условия, интенсивность эксплуатации, качество проведения технического обслуживания и т.д. Оценить комплексное влияние всего многообразия факторов проблематично. Поэтому, при изучении вопроса прогнозирования надежности работы гидросистемы автосамосвалов и, в частности, насосов шестеренных типа НШ необходимо использовать системный подход описания проблемы, т.е. представить рассматриваемую задачу в виде информационной системы знаний и закономерностей. Для определения требований к системе и ее функциям, а затем для разработки системы, которая соответствует заданным требованиям и исполняет заданные функции, была использована методология структурного анализа SADT (Structured Analysis & Design Technique) [1]. Решению этой задачи соответствует смешанная методология стандарта IDEF0 и IDEF3.

Функцией высшего порядка в данной структурной модели является «Сохранение работоспособности насосов шестеренных типа НШ в процессе эксплуатации». Для нее определены и описаны основные взаимодействия (стрелки), которые активируют основную функцию структурной модели (рисунок 1).

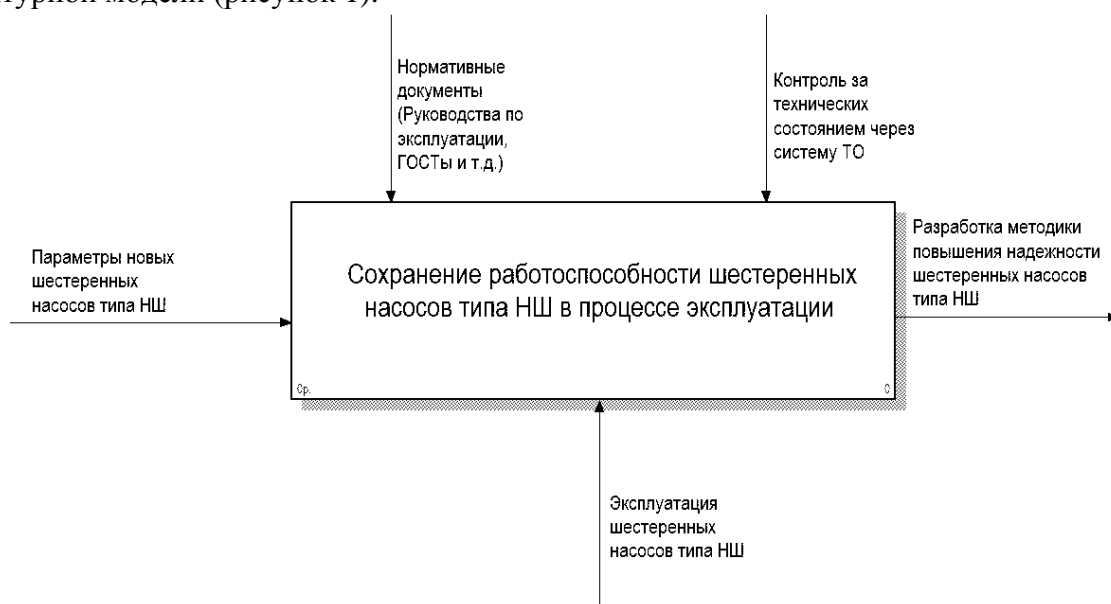


Рисунок 1. Структурная модель «Сохранение работоспособности насосов шестеренных типа НШ в процессе эксплуатации»

В качестве ресурсов приняты данные о параметрах новых шестеренных насосах типа

НШ, влиять на качество изготовления которых потребитель не в состоянии. Нормативные документы и контроль технического состояния насоса в процессе эксплуатации через систему ТО влияют на основную функцию через уровень квалификации персонала. Конечный продукт – разработка методики повышения надежности работы шестеренных насосов типа НШ. В качестве механизмов исполнения функции принята эксплуатация шестеренных насосов типа НШ.

После декомпозиции модели (рисунок 2) были определены четыре основные подфункции, которые оказывают влияние на работоспособность шестеренного насоса типа НШ:

- физико-химические свойства рабочих жидкостей;
- техническое состояние транспортного средства;
- условия эксплуатации транспортного средства;
- окружающая среда.

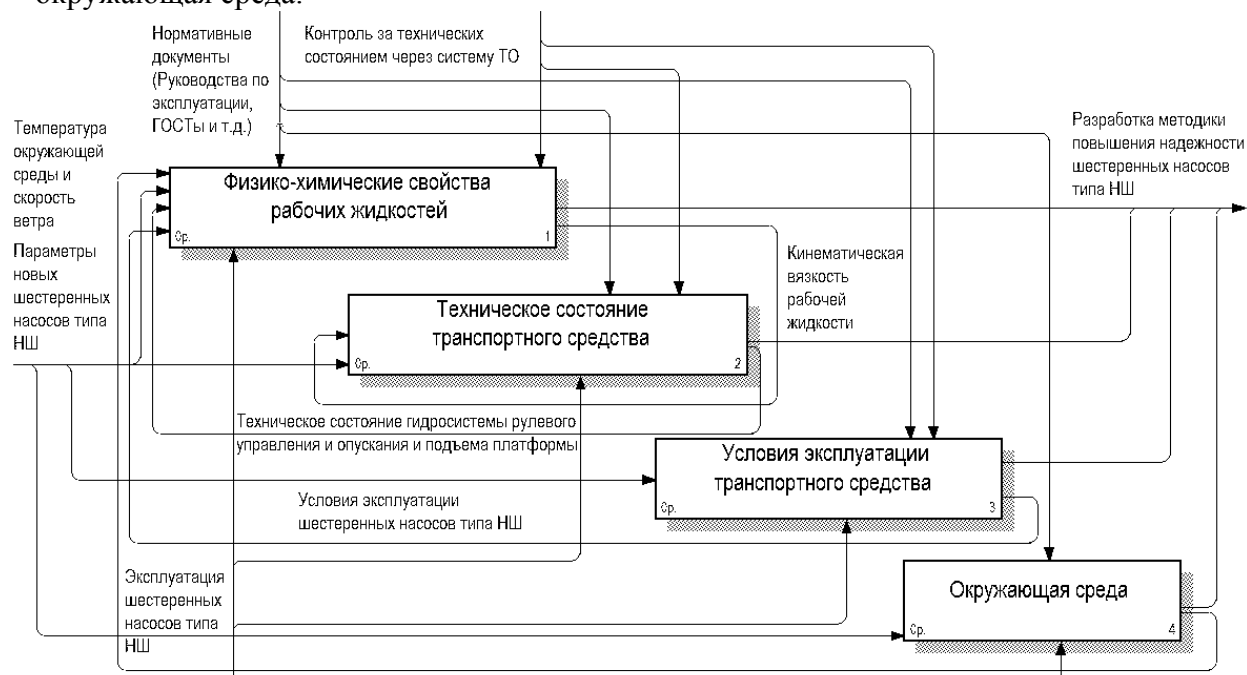


Рисунок 2. Декомпозиция по основным подфункциям

При дальнейшем анализе подфункций становится очевидным, что техническое состояние транспортного средства в основном зависит от условий эксплуатации и соблюдения правил проведения технического обслуживания, которые прописаны в соответствующих нормативных документах. Отступать от их требований недопустимо, т.к. это может повлечь за собой выход из строя шестеренного насоса, вследствие чего может произойти отказ гидросистемы рулевого управления и подъема-опускания платформы кузова автосамосвала.

Исходя из этого, прогнозирование выхода из строя шестеренного насоса по условиям эксплуатации и системе технического обслуживания становится невозможным.

Рассмотрев условия эксплуатации автосамосвала (рисунок 3), можно сделать вывод, что на данную подфункцию, прежде всего, влияют интенсивность эксплуатации и квалификация водителей. На квалификацию водителей повлиять сложно, т.к. в нее входит достаточно много условий, личных качеств человека и т.д. Другими словами, соблюдая правила поведения за рулем автосамосвала, а также, не нарушая требований нормативных документов, водитель добьется главной функции структурной модели – сохранение работоспособности шестеренных насосов типа НШ для карьерных автосамосвалов.

На интенсивность эксплуатации автосамосвала (рисунок 4), в свою очередь, влияют: длина ездки, масса перевозимого груза, скорость движения по маршруту.

Максимальная масса перевозимого груза и скорость движения заложены в соответствующих нормативных документах и не являются переменными величинами в функциональной модели. В отношении сохранения работоспособности шестеренного насоса, повли-

ять можно лишь на длину ездки и время работы автосамосвала. Разумеется, чем короче длина ездки и меньше время работы автосамосвала, тем больше будет его срок эксплуатации. Но сокращение длины ездки предусматривает проектирование новых технологических участков дорог, тем самым ведет к большим материальным затратам, что не выгодно любому предприятию. Поэтому, дальнейшие исследования по данным показателям носят косвенный характер.

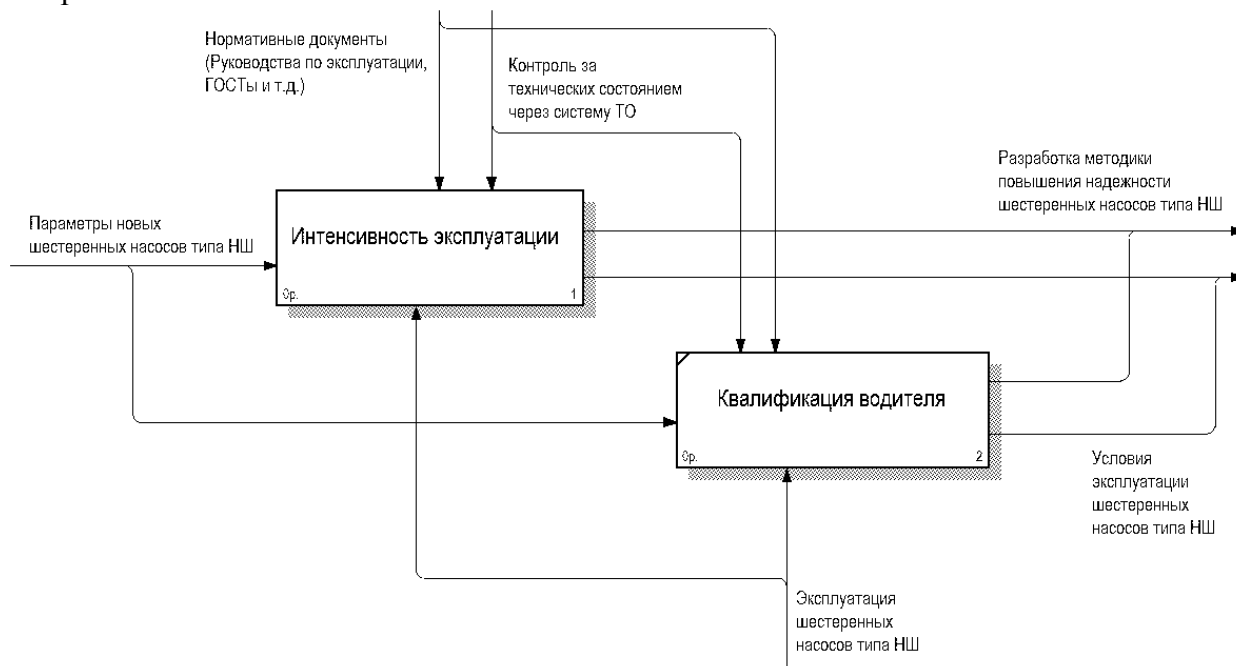


Рисунок 3. Декомпозиция подфункции «Условия эксплуатации транспортного средства»

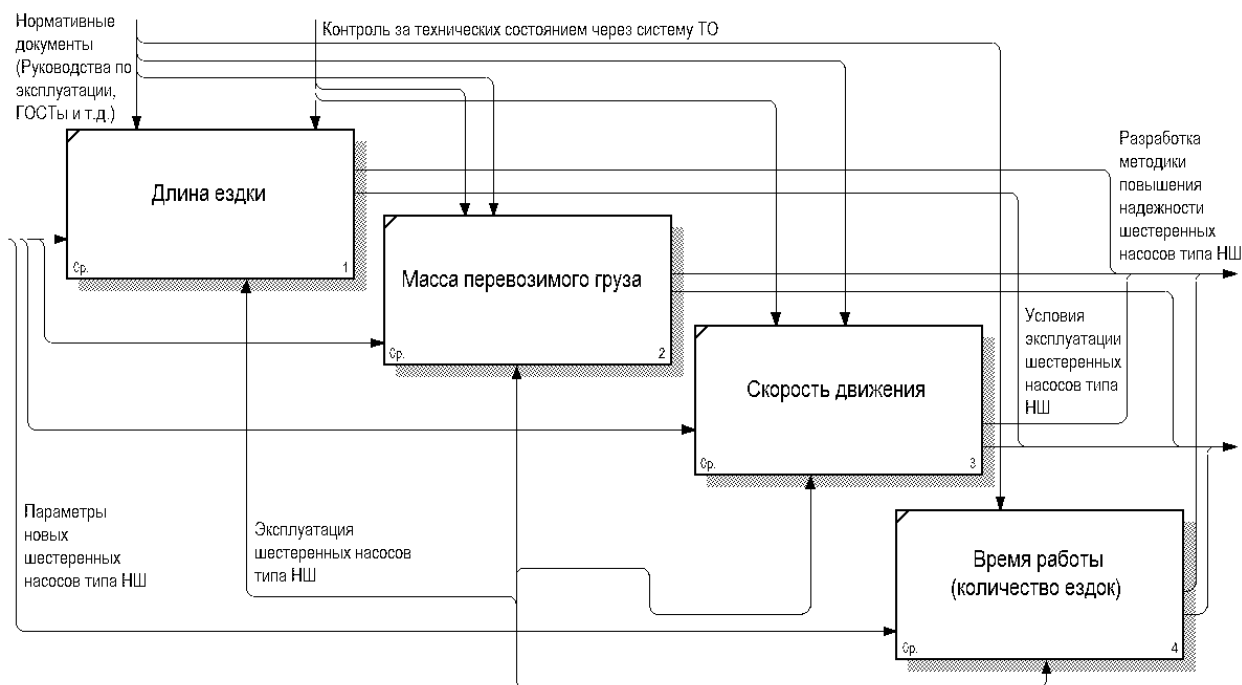


Рисунок 4. Декомпозиция подфункции «Интенсивность эксплуатации»

Проанализировав следующую подфункцию «Окружающая среда» (рисунок 5) следует сказать, что основным показателем, влияющим на работоспособность шестеренного насоса, является температура окружающей среды. Она же, в свою очередь, оказывает влияние на подфункцию «Физико-химические свойства рабочих жидкостей» (рисунок 1).

Существует множество физико-химических показателей рабочей жидкости (рисунок 6),

влияющих на надежность любой гидросистемы. Основными показателями, влияющими на работу шестеренных насосов типа НШ для карьерных автосамосвалов, являются: кинематическая вязкость, вспениваемость, агрессивность рабочей жидкости.

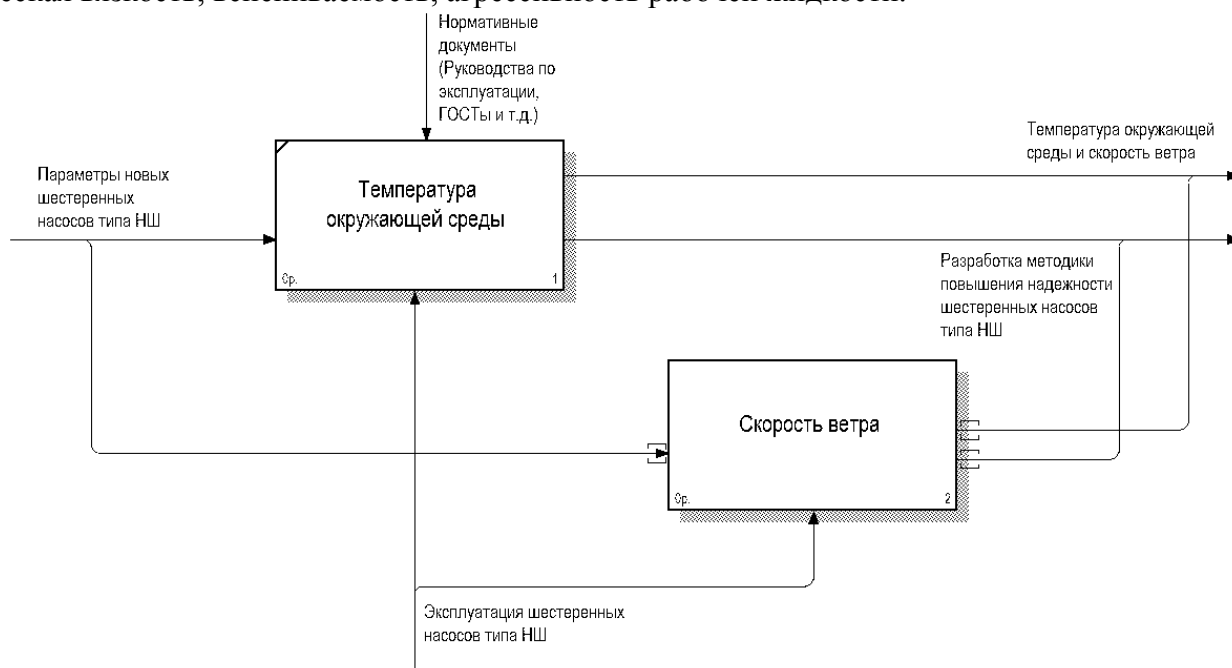


Рисунок 5. Декомпозиция подфункции «Окружающая среда»

Также стоит отметить, что на техническое состояние гидросистем рулевого управления и подъема-опускания платформы влияют те же параметры, что представлены на рисунке 6, но с добавлением еще одного параметра: «кинематическая вязкость рабочей жидкости». Естественно, что отклонение показателей кинематической вязкости от допустимых значений приводит к неудовлетворительной работе гидравлических систем карьерного автосамосвала.

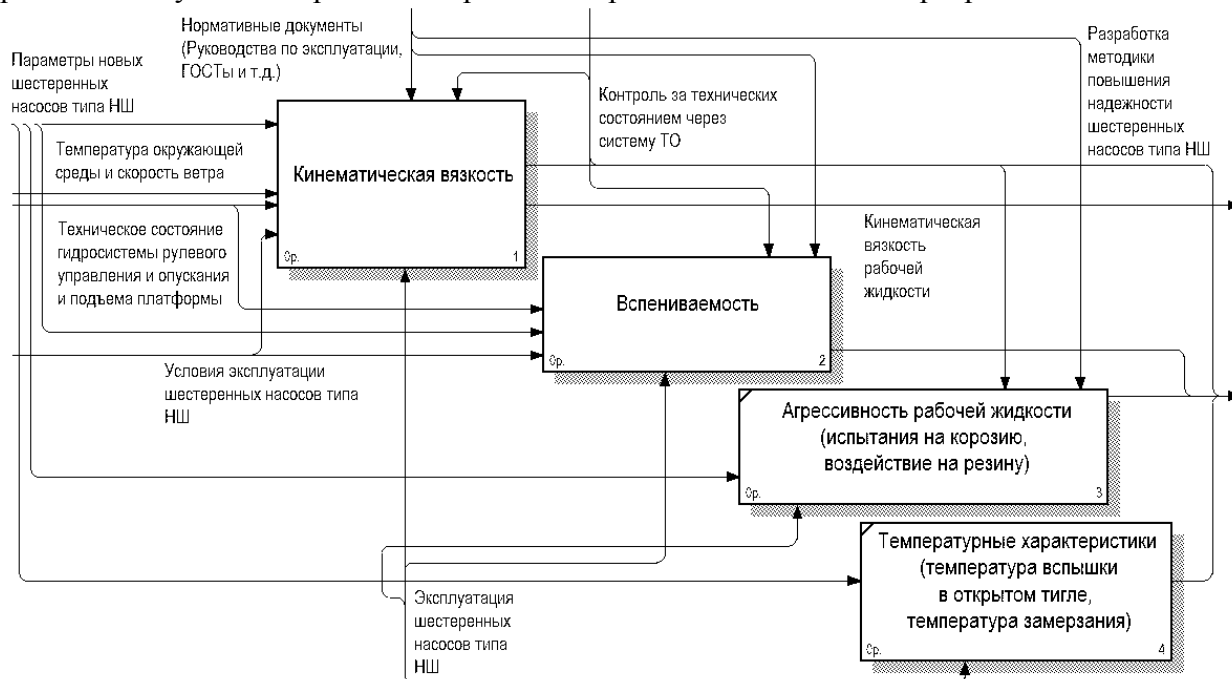


Рисунок 6. Декомпозиция подфункции «Физико-химические свойства рабочих жидкостей»

Кинематическая вязкость зависит от стабильности рабочей жидкости к разным температурам: температуре окружающей среды и рабочей температуре в гидросистеме (рисунок 7). При этом техническое состояние гидросистемы рулевого управления и механизма подъема и опускания платформы также должно соответствовать норме.

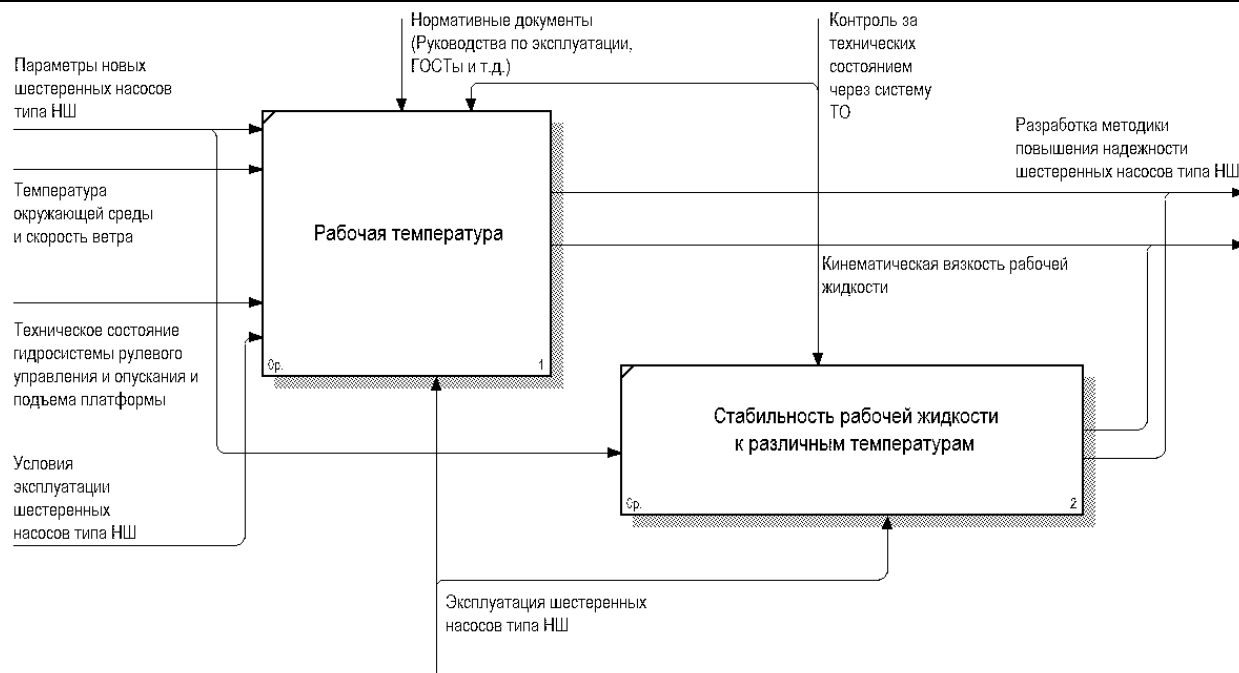


Рисунок 7. Декомпозиция подфункции «Кинематическая вязкость»

В итоге, после анализа данной структурной модели, выяснилось, что большинство параметров, влияющих на все четыре подфункции, пересекаются, т.е. оказывают влияние друг на друга и непосредственно на сами подфункции. Также оказалось, что основными параметрами, влияющими на надежность работы гидросистемы карьерных автосамосвалов, являются: кинематическая вязкость, температура рабочей жидкости, температура окружающей среды.

В результате проведенной декомпозиции структурной модели можно сделать вывод, что основным фактором, влияющим на надежность гидросистемы, является кинематическая вязкость рабочей жидкости.

Исходя из выше изложенного, для дальнейших исследований были поставлены следующие задачи:

- 1) провести анализ условий эксплуатации гидросистемы карьерных автосамосвалов в широком диапазоне температур окружающей среды;
- 2) изучить физико-химические свойства гидравлических масел, применяемых в гидросистеме карьерных автосамосвалов;
- 3) разработать предложения по корректировке вязкости гидравлического масла в гидросистеме карьерных автосамосвалов для определенных условий эксплуатации.

Автосамосвалы БелАЗ, на которых проводился анализ условий эксплуатации гидросистемы, работают в Прокопьевско-Киселевском угольном районе. В гидравлической системе опрокидывающего механизма и рулевого управления автосамосвала БелАЗ-7547 для нагнетания рабочей жидкости используются насосы шестеренные НШ50А-3 в количестве трех штук. В качестве рабочей жидкости в гидросистеме автосамосвала с насосами НШ используются минеральные масла или их смеси, обеспечивающие номинальную вязкость 30-70 мм²/с [2], а минимальную – 15 мм²/с [3] при интервале температур рабочей жидкости от 0 до 80 °С.

В качестве рабочей жидкости рекомендуются следующие масла:

- 1) масло гидравлическое МГЕ-46В при температуре окружающего воздуха выше -10 °С;
- 2) масло гидравлическое ВМГЗ при температуре окружающего воздуха выше -55 °С;
- 3) масло гидравлическое ВМГЗ-С при температуре окружающего воздуха выше -60 °С;
- 4) масло гидравлическое марки А – в качестве заменителя при температуре окружающего воздуха выше -30 °С.

В настоящее время на автосамосвалах БелАЗ часто используется гидравлическое масло

марки А ввиду его относительно низкой стоимости. Однако во время эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ при положительных температурах окружающей среды, ухудшается работа вплоть до отказа гидравлической системы опрокидывающего механизма и рулевого управления. Происходит это вследствие изменения кинематической вязкости масла при повышении температуры.

Согласно ТУ 38.1011282-89 [4] гидравлическое масло марки А рекомендовано для зимней эксплуатации. В условиях Прокопьевско-Киселевского угольного района положительная температура стабильно держится с мая по сентябрь (таблица 1), достигая максимумов в июле [5].

Таблица 1

Среднемесячная температура воздуха на высоте 10 метров от поверхности земли, °С

Месяц	Минимум	Максимум	Среднее значение за 22 года
Январь	-17,811	-10,747	-14,233
Февраль	-17,546	-8,9429	-13,210
Март	-13,142	-3,1226	-7,8747
Апрель	-4,1825	5,0134	0,6530
Май	6,2138	16,704	11,335
Июнь	11,018	21,821	16,509
Июль	14,240	24,707	19,448
Август	12,034	22,239	17,014
Сентябрь	5,9038	14,334	10,143
Октябрь	-0,2816	5,9306	2,6412
Ноябрь	-10,436	-3,844	-7,0409
Декабрь	-16,118	-9,2417	-12,636
Среднее значение за год	-2,4103	6,3426	1,9808

Замеры температуры рабочей жидкости в гидравлической системе карьерного автосамосвала БелАЗ-7547 производились прибором «Пирометр RaytekMT6» при температуре окружающей среды от 14 до 30 °С.

При проведении полевых исследований [6] температурных режимов гидросистемы автосамосвалов БелАЗ-7547 получены результаты, представленные на рисунке 8.



Рисунок 8. Зависимость температуры рабочей жидкости от температуры окружающей среды

Проведенные исследования не позволили выявить ярко выраженной зависимости изме-

нения температуры рабочей жидкости в гидросистеме автосамосвалов БелАЗ от температуры окружающей среды. Можно сделать вывод, что температура рабочей жидкости зависит, прежде всего, от интенсивности работы автосамосвала, а температура окружающей среды влияет лишь на скорость охлаждения гидросистемы.

В ходе дальнейшего исследования проводились измерения вязкости образца гидравлического масла марки А в диапазоне температур от 40 до 90 °С. Измерения проводились согласно ГОСТ 6258-85 [7].

Результаты исследований представлены в виде графика (рисунок 9).

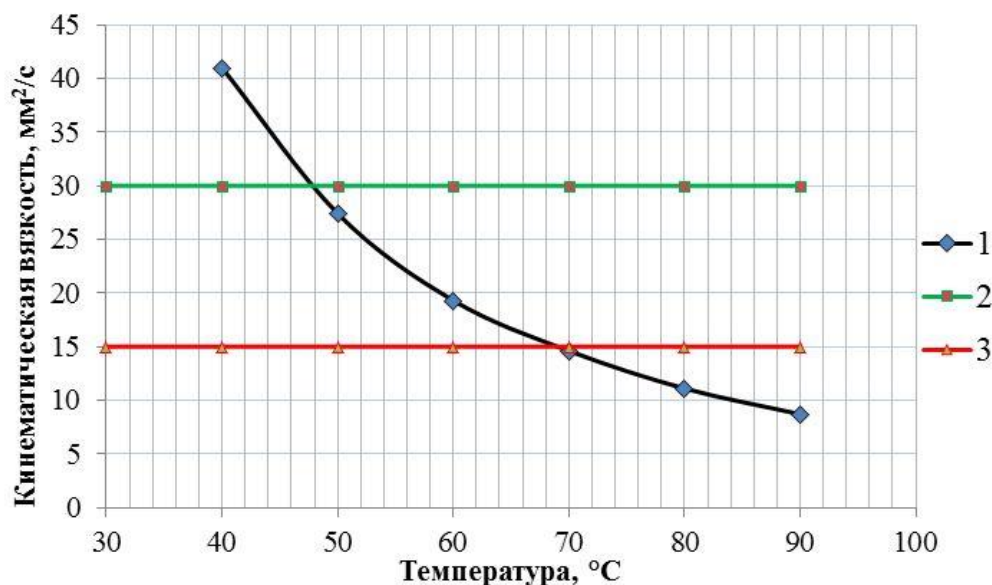


Рисунок 9. Зависимость вязкости гидравлического масла марки А от температуры: 1 – зависимость вязкости масла от температуры; 2 – рекомендуемая вязкость масла для насосов НШ50А-3; 3 – минимально допустимая вязкость масла для насосов НШ50А-3

Исследования показали, что оптимальная для работы насоса НШ 50А-3 вязкость образца находится в диапазоне температур до +48 °С, а допустимая – +48...+68 °С. При рабочей температуре масла +70 °С кинематическая вязкость составляет 14,6 мм²/с. Рекомендуется использовать гидравлическое масло марки А в чистом виде до температуры не более +60 °С, что соответствует температуре окружающей среды + 15...+ 18 °С. Очевидно, что при температурах окружающей среды выше + 20°С необходимо переходить на более вязкие сорта гидравлических масел, что сопряжено с увеличением расходов на эксплуатацию техники.

Руководством ООО «Вахрушевская автобаза», г. Киселевск, было предложено использовать в качестве загущающей добавки моторное масло Optimum Diesel SAE 15W-40, используемое предприятием в системе смазки двигателей автосамосвалов БелАЗ.

При проведении лабораторных испытаний проб гидравлической жидкости марки А с различным содержанием загущающего компонента были получены результаты, представленные в на рисунке 10. Вязкость полученных образцов определялась прибором «Вискозиметр Энглера ВУ-М-ПХП».

Исследования показали, что температура рабочей жидкости в гидросистеме автосамосвала БелАЗ при температуре окружающей среды от +25 до +30 °С практически не превышает 80 °С.

Для обеспечения вязкости не менее 15 мм²/с при температуре рабочей жидкости гидросистемы не выше +80 °С можно рекомендовать рабочую смесь в составе: 70% гидравлического масла марки А и 30% моторного масла Optimum Diesel SAE 15W-40.

На основе отчетной документации ООО «Вахрушевская автобаза» было выявлено, что доливы в гидросистему автосамосвала БелАЗ-7547 гидравлического масла марки А в период эксплуатации составляют от 10 до 30 литров в месяц.

При повышении температуры окружающей среды рекомендуется постепенно повышать вязкость масла в гидросистеме путем долива моторного масла Optimum Diesel SAE 15W-40 в

объеме 15 л / мес., начиная с марта.

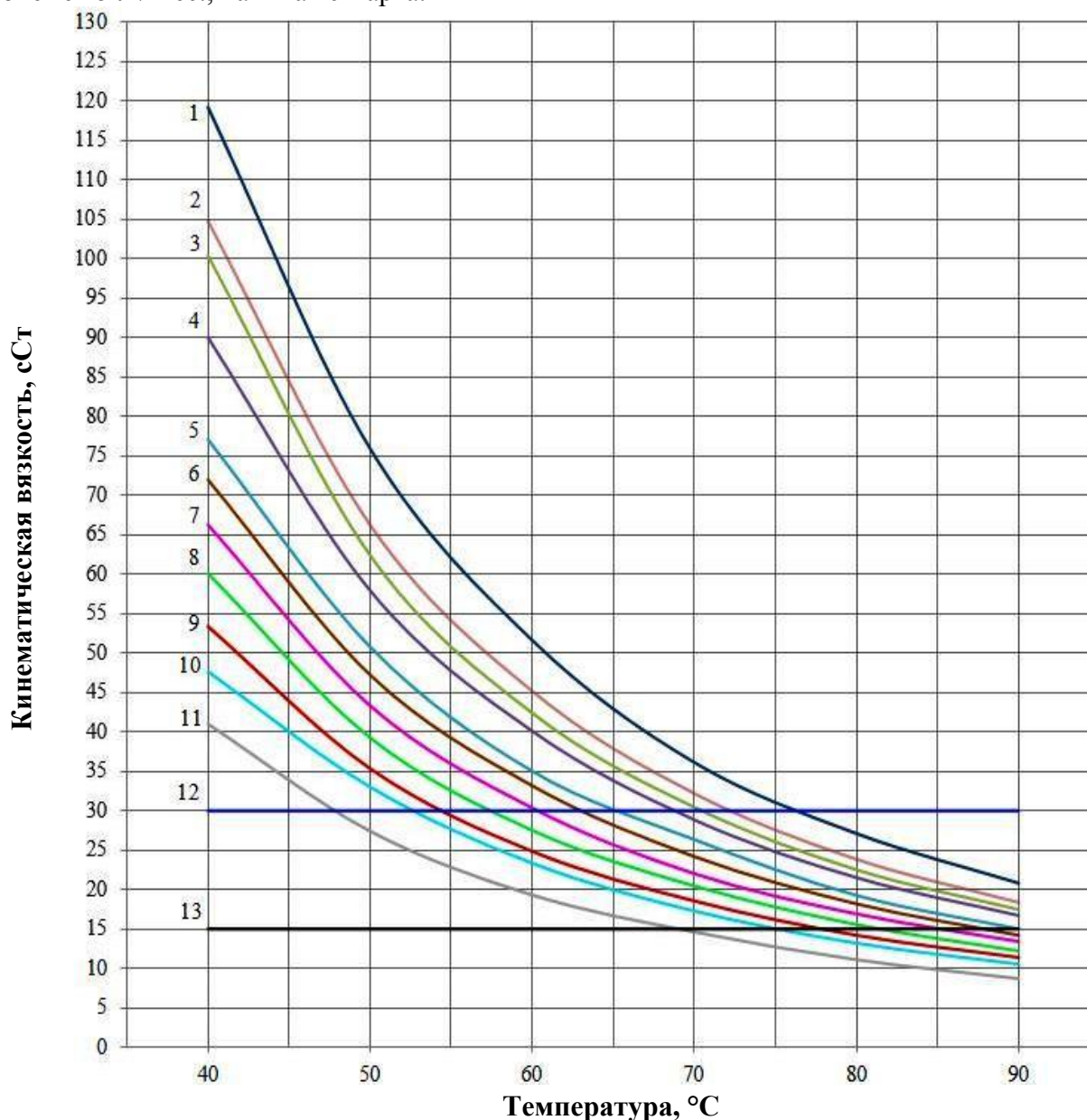














Рисунок 10. Зависимость вязкости рабочей жидкости от процентного содержания моторного масла Optimum Diesel SAE 15W-40: 1 - 100% моторное масло Optima 15W-40; 2 - 90% моторное масло Optima 15W-40; 3 - 80% моторное масло Optima 15W-40; 4 - 70% моторное масло Optima 15W-40; 5 - 60% моторное масло Optima 15W-40; 6 - 50% моторное масло Optima 15W-40; 7 - 40% моторное масло Optima 15W-40; 8 - 30% моторное масло Optima 15W-40; 9 - 20% моторное масло Optima 15W-40; 10 - 10% моторное масло Optima 15W-40; 11 - 100% гидравлическое масло марки А; 12— минимально допустимая вязкость (30 мм²/с) согласно нормативному документу [2]; 13 - минимально допустимая вязкость (15 мм²/с) согласно нормативному документу [3]

При необходимости долива свыше 15 л / мес. в период с марта по май рекомендуется использовать смесь из гидравлического масла марки А и моторного масла Optimum Diesel SAE 15W-40, в которой доля моторного масла Optimum Diesel SAE 15W-40 составляет 15 литров.

В период с июня по август для долива и замены масла в гидросистеме рекомендуется использовать смесь в соотношении 30 % - моторного масла Optimum Diesel SAE 15W-40 и 70 % - гидравлического масла марки А [8]. В таблице 2 приведен график корректировки вязкости масла марки А в гидросистеме автосамосвалов БелАЗ.

График корректировки вязкости масла марки А в гидросистеме автосамосвалов БелАЗ

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Ср. знач. температуры за 22 года, °С	-14,233	-13,210	-7,8747	0,6530	11,335	16,509	19,448	17,014	10,143	2,6412	-7,0409	-12,636
Рекомендуемые доливы												

Принятые обозначения:

Гидравлическое
масло марки АМоторного масла
Optimum Diesel
SAE 15W-40Смесь: 30 % - моторного
масла **Optimum Diesel**
SAE 15W-40 и 70 % -
гидравлического масла
марки А

Предложенные мероприятия по повышению надёжности работы гидросистемы автосамосвалов БелАЗ были апробированы в ООО «Вахрушевская автобаза» в 2014 ...2015 гг. и дали положительный результат. Сократилось количество доливов масла в гидросистему, стала стабильной работа гидросистем рулевого управления и подъема-опускания платформы.

Литература

1. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 50 с.
2. НАСОС ШЕСТЕРЕННЫЙ НШ32К-4, НШ32К-3, НШ32А-3, НШ50А-3 и их модификации: руководство по эксплуатации НШ32К-4-00 РЭ. – ОАО «КАЛУЖСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ».
3. КАРЬЕРНЫЕ АВТОСАМОСВАЛЫ. БелАЗ-7540А, БелАЗ-75404, БелАЗ-7548А, БелАЗ-75481, БелАЗ-75483, БелАЗ-7547, БелАЗ-75471, БелАЗ-75473 и их модификации: руководство по ремонту 7547-3902080 РС. – Производственное объединение «Белорусский автомобильный завод».
4. ТУ 38.1011282-89. Масла для гидромеханических и гидрообъемных передач (гидромасла «А» и «Р»). Технические условия. – Взамен ОСТ 38.01434-87; введ. 1990-01-15. – Москва: ВНИИ НП; М.: Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.
5. Кемеровская область – метеостатистика региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kemovo-meteo.ru>. – (Дата обращения: 20.06.2015).
6. Подбор и лабораторные испытания присадок по стабилизации вязкости к гидравлическому маслу марки А: отчет о НИР (заключ.) / рук. С. В. Горюнов; исполн.: А. И. Боровских, А. В. Кузнецов, А. В. Шальков. – Прокопьевск, 2012. – 22 с.
7. ГОСТ 6258-85. Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости. – Введ. 1986.01.01. – Москва: Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической про-

мышленности СССР; М.: Стандартиформ, 1986. – 7 с.

8. Разработка предложений по корректировке вязкости гидравлического масла марки А в гидросистеме автосамосвалов БелАЗ-7547 для определенных условий эксплуатации: отчет о НИР (заключ.) / рук. С. В. Горюнов; исполн.: А. И. Боровских, А. В. Кузнецов, А. В. Шальков. – Прокопьевск, 2012. – 10 с.

Анализ проблемы уплотнения почвы тракторами и сельскохозяйственными машинами и поиск путей её решения

Лавлинский А.М.

Университет машиностроения
a.lavlinskii@gmail.com

Аннотация. Рассматривается вопрос уплотнения почвы при ее обработке. Приведены основные негативные последствия уплотнения почвы. Рассматриваются существующие и потенциальные технические решения в тракторостроении по снижению отрицательных факторов рассматриваемой проблемы.

Ключевые слова: трактор, центр давления, опорная поверхность, уплотнение почвы, перераспределение веса, навесное устройство, сельскохозяйственное орудие, тягово-цепные свойства.

В настоящее время можно выделить следующие основные проблемы земледелия:

- разрушение структуры и уплотнение почвы;
- водная и ветровая эрозия почв;
- потеря гумуса;
- разрушение почвенных экосистем.

Уплотнение почвы – это увеличение объемной плотности почвы, характеризующееся снижением ее урожайности и качества. Если рассматривать упрощенно, почва состоит из твердых минералов, органических частиц и пор. При уплотнении размер пор уменьшается, что ведет к уменьшению воздуха и влаги в почве, негативно влияющее на прорастание семян, появление всходов, рост корневой системы, потребление питательных веществ и все остальные фазы роста сельскохозяйственной культуры [1].

Поэтому в настоящее время уделяется много внимания по созданию различных конструктивных решений, позволяющих снизить уплотняющее воздействие трактора (колесного или гусеничного) на почву при агрегатировании его с сельскохозяйственными орудиями.

Для этого необходимо проанализировать уровень техники и технологии обработки почвы, предлагаемые планируемые и проектируемые способы решения проблемы уплотнения почвы.

Выделяют несколько факторов, вызывающих уплотнение почвы:

- в регионах с лёссовыми почвами дождь создает твердую корку на поверхности почвы;
- пахота и дискование создают уплотненный слой почвы толщиной 3-5 см чуть ниже глубины обработки, который устраняется периодической обработкой плугами и культиваторами на глубину, превышающую обычную обработку;
- необходимо избегать минимального севооборота, так как корневые системы разных культур помогают снизить уплотнение подпочвы;
- воздействие тракторов и комбайнов вызывает глубокое уплотнение, особенно когда работы начинаются весной, когда почва недостаточно суха, чтобы выдержать вес техники.

Уплотнение почвы имеет свои плюсы и минусы. С одной стороны, умеренное уплотнение ускоряет скорость появления ростков, обеспечивая хороший контакт между почвой и семенами, и уменьшает потери воды из-за испарения, тем самым, защищая почву вокруг семян от высушивания. Исследования, проведенные в Северной Америке и Европе, показывают (рисунок 1), что в засушливые годы на почвах с очень низкой сыпучей плотностью урожай постепенно возрастал с увеличением уплотнения, достигая своего пика с оптимальным