

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/218TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/218TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/218TVN515>)

**УДК 621.879**

**Алешков Денис Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»

Россия, г. Омск<sup>1</sup>

Заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

Кандидат технических наук

Доцент

E-mail: denisaleshkov@mail.ru

**Столяров Владимир Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»

Россия, г. Омск

Доцент кафедры «Техносферная безопасность»

Кандидат технических наук

E-mail: stolyarovbgd@rambler.ru

**Суковин Михаил Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»

Россия, г. Омск

Доцент кафедры «Техносферная безопасность»

Кандидат технических наук

E-mail: sukovin\_8@mail.ru

## **Методы снижения вредного воздействия производственной вибрации на организм человека – оператора строительного- дорожных машин**

---

<sup>1</sup> 644080, Омская обл., г. Омск, проспект Мира, 5

**Аннотация.** В статье приводится классификация методов вибрационной защите, а также обоснование выбора того или иного метода. Для определения основных параметров вибрации выявляются основные источники динамического воздействия на человека. В статье приводятся сравнительные характеристики данных параметров от основных источников динамического воздействия. Авторами выделяются основные пути распространения вибрации на примере одноковшового экскаватора. В статье анализируются основные факторы, вызывающие вибрацию в различных источниках. Оценка вибрационного воздействия производилась для различных частотных диапазонов. Статья также описывает проблематику снижения динамических воздействий на человека-оператора одноковшового экскаватора. Уделено внимание применению различных виброзащитных систем на строительно-дорожных машинах. В статье сравниваются пассивные и активные системы вибрационной защиты. Также производится сравнительный анализ достоинств и недостатков данных систем. Авторами исследуется эффективность использования различных систем вибрационной защиты. Анализ параметров эффективности производился на различных частотах, в том числе и на частотах превышающих резонансную частоту. В статье акцентируется внимание на то, что большая часть возмущающих воздействий наблюдается именно на частотах выше резонансной. Приводится обоснование использования метода математического моделирования при исследовании параметров динамического воздействия на оператора строительно-дорожных машин.

**Ключевые слова:** строительно-дорожные машины; методы вибрационной защиты; параметры динамического воздействия; источники и пути распространения вибрации; активные и пассивные системы вибрационной защиты; эффективность систем виброзащиты; математическое моделирование динамического воздействия.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Алешков Д.С., Столяров В.В., Суковин М.В. Методы снижения вредного воздействия производственной вибрации на организм человека – оператора строительно-дорожных машин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/218TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/218TVN515

Вибрационная защита это совокупность средств и методов уменьшения вибрации, воспринимаемой защищаемыми объектами. Методы вибрационной защиты можно разделить на две группы: снижающие вибрацию воздействием на источник возбуждения и снижающие параметры вибрации на путях ее распространения /5/.

Выбор определенных методов и средств защиты зависит от конструкции машины. Поэтому при разработке системы виброзащиты на первом этапе необходимо выявить основные источники динамического воздействия, их интенсивность, частотный диапазон, а также пути распространения вибрации от источника до защищаемого объекта.

Источники динамических воздействий на одноковшовый экскаватор (ЭО) довольно разнообразны и могут быть условно подразделены на механические, гидромеханические, электромагнитные и др. Различные узлы и агрегаты машин могут быть разнообразными источниками динамических воздействий /1/.

Для определения путей распространения вибрации от источников к человеку-оператору ОЭ предлагается составлять блок-схемы. Все узлы и агрегаты ОЭ на блок-схемах следует представлять в виде отдельных блоков. Источники вибрации (двигатель внутреннего сгорания (ДВС), трансмиссия, насосная станция, элементы ходового оборудования, рабочий орган при взаимодействии с разрабатываемым грунтом) на блок-схемах выделяют более темными цветами – это активные блоки. Пассивные блоки, передающие динамическое воздействие без искажения, обозначают сплошными линиями. Блоки, преобразующие передаваемое динамическое воздействие, обозначают прерывистыми линиями. Векторы передачи возмущающего воздействия показывают линиями со стрелками (механические связи – сплошными линиями, гидравлические – прерывистыми).

Основными источниками динамических воздействий на ОЭ являются ДВС, агрегаты экскаватора и элементы ходового оборудования машины (при движении), активный рабочий орган (АРО). ДВС является источником периодической вибрации, основная часть спектра которой численно совпадает с частотой вращения вала. Ходовые части машин формируют случайную вибрацию, основная энергия которой расположена в низкочастотном диапазоне спектра /1, 5/.

Основные факторы, вызывающие вибрацию в ДВС /1/:

- опрокидывающий момент от газовых сил, действующий в поперечной плоскости;
- опрокидывающие моменты (1-го и 2-го порядков) от сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс шатунно-поршневой группы;
- неуравновешенные силы вращающихся масс;
- неуравновешенный момент от сил инерции возвратно - поступательно движущихся масс, действующий в вертикальной плоскости.

Моменты инерции 1-го порядка ДВС при частоте вращения коленчатого вала от 1200 до 3000 об/мин формируют наиболее опасную вибрацию для человека-оператора в диапазоне частот 20...50 Гц /1/.

В транспортном режиме вертикальные колебания ОЭ достигают максимальных значений и имеют низкочастотный узкополосный характер с центральной частотой спектра 1,8...2,2 Гц /1, 3/.

Кроме того, при работе на ОЭ возникают также вибрации, обусловленные выполняемым рабочим процессом. Например, на экскаваторах при копании возникают толчки

частотой до 3...4 Гц, при повороте - горизонтальные вибрации с частотой 1...3 Гц, а при торможении - горизонтальные толчки частотой 1...1,5 Гц /1, 3/.

При работе с АРО возникают динамические нагрузки с частотой возмущающих воздействий /4/.

При распространении вибрации от ДВС по конструктивным элементам машины могут наблюдаться случаи, когда собственные частоты отдельных элементов оказываются близкими или равными частотам гармонических составляющих возмущающих сил. При этом возникают резонансные колебания элементов машины /2/.

Анализ предшествующих исследований позволяет сделать вывод, что на человека-оператора ОЭ действует интенсивная вибрация двух типов: транспортная (основной частотный диапазон 1...4 Гц) и технологическая (основной диапазон 20...60 Гц) /1/.

Таким образом, человек-оператор воспринимает не только динамические воздействия со стороны кабины и кресла, а также местные – со стороны рычагов управления гидрораспределителей (ГР), рычага коробки перемены передач (КПП) и рулевого колеса.

Экскаватор ЭО-2621 относится к группе одноковшовых экскаваторов, выполненном на базе промышленных тракторов.

Проблема снижения динамических воздействий на человека-оператора экскаватора или любой другой строительно-дорожной машины (СДМ) является актуальной задачей, так как обеспечивает не только требуемые санитарные нормы по динамическим воздействиям на человека-оператора, но и улучшает комфортность условий его труда, даёт возможность повысить рабочие и транспортные скорости машины и тем самым повысить её эффективность.

Отсутствие инженерных методик, математических моделей, программного обеспечения по снижению динамических воздействий на рабочем месте человека-оператора одноковшового экскаватора не позволяет инженерными методами снизить уровень динамического воздействия на оператора СДМ. Из-за этого нет возможности повысить эксплуатационную эффективность экскаватора.

Решение проблемы снижения динамических воздействий на человека-оператора СДМ сдерживается отсутствием научно-обоснованной методики выбора параметров подвески кабины строительно-дорожной техники. Выпускаемые в настоящее время резиновые амортизаторы в основном не обеспечивают снижение динамических воздействий на оператора СДМ во всём частотном диапазоне. Необходима разработка новых устройств виброзащиты с переменными параметрами, позволяющими осуществлять изменение динамических свойств подвески кабины в соответствии с изменяющимися динамическими параметрами возмущающих воздействий.

При разработке виброзащитных систем большое внимание уделяется виброзащите человека-оператора. Существует большое количество научной литературы, посвящённой защите человека-оператора от вредных вибрационных воздействий /8/.

Исследовав научную литературу по данной проблематике, можно сделать вывод, что в настоящее время большинство строительно-дорожных машин оборудованы пассивными виброзащитными системами (ВЗС) рабочего места человека-оператора. Большому распространению именно пассивных ВЗС способствует простота устройства, а также то, что они в процессе эксплуатации не требуют специального технического обслуживания и подвода энергии.

Обычно эффективность виброзащиты пассивных подвесок проявляется при частотах возмущающего воздействия, несколько превышающих резонансную частоту. В простых пассивных виброзащитных системах даже при наличии гидроамортизатора на резонансной частоте амплитуда колебаний и связанные с ней ускорения значительно превышают уровень возмущающих воздействий на основании /8/.

Снижение резонансной частоты пассивных подвесок в результате уменьшения жёсткости упругого элемента имеет ряд ограничений эргономического и технического характера. Поэтому даже самые совершенные пассивные виброзащитные системы, применяемые в настоящее время на различных машинах, обеспечивают эффективное виброгашение частот, составляющих 3 Гц и более. К менее существенным недостаткам пассивных виброзащитных систем относят чувствительность подвески к весу изолируемого от вибрации объекта, в данном случае – человека-оператора, а также чувствительность к внешним силам /9/.

Активные виброзащитные системы представляют собой следящие системы, которые осуществляют движение источника и объекта виброзащиты в противофазе относительно вибрирующего основания. Эти системы стремятся обеспечить абсолютную неподвижность объекта в заданном направлении виброзащиты при наличии перемещения источника /7/.

Несмотря на относительную сложность и более высокую стоимость по сравнению с пассивными системами, активные системы виброзащиты имеют ряд достоинств, позволяющих прогнозировать их широкое применение в тех случаях, когда пассивные подвески не могут обеспечить эффективной виброзащиты, особенно при низкочастотном динамическом воздействии /7/.

К наиболее существенным преимуществам активных систем виброзащиты по сравнению с пассивными можно отнести /7/:

- возможность защиты операторов от низкочастотных возмущающих воздействий;
- высокая статическая и динамическая жёсткость, благодаря чему эти системы практически нечувствительны к весу объекта виброзащиты и нагрузкам, связанным с изменением усилия, действующих на каркас виброзащитной системы;
- незначительная зависимость характеристик, определяющих виброзащитные свойства, от массы объекта виброзащиты;
- высокие виброзащитные свойства активных ВЗС в низкочастотной области вибрационного воздействия (до 2,0 – 2,5 Гц).

В настоящее время разработано большое число схем активных виброзащитных систем /9/. Перспективным решением является применение активных гидромеханических систем виброзащиты, содержащих гидромеханические датчики ускорения и сравнивающие устройства.

Для решения задач снижения динамических воздействий на человека-оператора необходимо составить и провести исследование пространственной расчетной схемы "экскаватор – человек-оператор".

Основным методом теоретических исследований принят метод математического моделирования. Математическая модель является идеализированным представлением объекта. Степень идеализации модели зависит от правильности основных допущений,

позволивших пренебречь малозначимыми параметрами при исследовании физических процессов /6, 10/.

Анализ предшествующих работ показал, что жёсткость металлоконструкции рабочего оборудования в 15 – 20 раз выше жёсткостей гидролиний. Это позволяет все элементы расчетной схемы представить как абсолютно жёсткие стержни.

Математическое описание одноковшового экскаватора как элемента сложной системы основано на следующих допущениях /6, 10/:

- экскаватор представляет собой пространственный шарнирносочлененный многосвязный с наложенными на него упруговязкими динамическими связями;
- связи в колебательной системе экскаватора, являются стационарными;
- элементы рабочего оборудования представлены как абсолютно жёсткие стержни с сосредоточенными массами;
- люфты в шарнирах отсутствуют;
- силы сухого трения в гидроцилиндрах отсутствуют;
- элементы ходового оборудования имеют постоянный контакт с грунтом.

Математическая модель системы “экскаватор – человек-оператор” является математической моделью системы с нелинейными характеристиками и представляет систему дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, являющимися функциями конструктивных параметров. Что позволит решить поставленные задачи анализа и синтеза.

Для проверки модели в контексте проведенного исследования проводят эксперимент, который направлен на подтверждение адекватности математической модели, определение численных значений коэффициентов для расчета математической модели на ПК и оценку работоспособности и эффективности инженерных разработок.

Адекватность математической модели можно подтвердить путем сравнения основных параметров переходных процессов, полученных на ПК и реальных строительно-дорожных машинах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.
2. Колесников А.Е. Шум и вибрация. – Л.: Судостроение, 1988. – 247 с.
3. Маслов Г.С. Колебания в машинах и элементы виброзащиты: Учеб. пособие / Г.С. Маслов, В.С. Артемьев, В.А. Макаров. – М., 1987. – 92 с.
4. Сайбель Э.Я. Уплотнение грунтов гидромолотами / Э.Я. Сайбель, Л.В. Гришпун, К.К. Иванов // Механизация строительства. – 1981. – №11. – С. 13–14.
5. Снижение динамических воздействий на одноковшовый экскаватор: Монография / В.С. Щербаков, П.А. Корчагин. - Омск: Изд-во СибАДИ, 2000. - 147 с.
6. Корчагин П.А. Совершенствование одноковшового экскаватора с целью снижения динамического воздействия на рабочее место человека-оператора/ Дис. ... канд. техн. наук. - Омск, СибАДИ, 1997.
7. Чупраков Ю.И. Гидравлические системы защиты человека-оператора от общей вибрации. – М.: Машиностроение. – 1987 г. – 224 с.: ил.
8. Пивцаев А.Н. Исследование экскаватора с активным рабочим органом с целью снижения динамических воздействий на человека-оператора: Дис. ... канд. техн. наук. - Омск, СибАДИ, 1982. - 223 с.
9. Вибрация в технике. Справочник в 6-ти томах. Том 6. Под ред. Фролова, 1981 г.
10. Степанов А.И. Снижение динамических воздействий на оператора автогрейдера на базе трактора ЗТМ – 82: Дис. ... канд. техн. наук. – Омск: СибАДИ, 2002. – 151 с.

**Рецензент:** Галдин Николай Семенович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод».

**Aleshkov Denis Sergeevich**

Siberian State Automobile and Highway Academy  
Russia, Omsk  
E-mail: [denisaleshkov@mail.ru](mailto:denisaleshkov@mail.ru)

**Stolyarov Vladimir Vladimirovich**

Siberian State Automobile and Highway Academy  
Russia, Omsk  
E-mail: [stolyarovbgd@rambler.ru](mailto:stolyarovbgd@rambler.ru)

**Sukovin Michail Vladimirovich**

Siberian State Automobile and Highway Academy  
Russia, Omsk  
E-mail: [sukovin\\_8@mail.ru](mailto:sukovin_8@mail.ru)

## **Methods of reducing the harmful effect of industrial vibration on the body of human – operator of road construction machinery**

**Abstract.** The article gives classification of methods of vibration protection, as well as the rationale of choosing a method. To determine the main parameters of vibration identifies the main sources of dynamic effects on humans. The article provides comparative characteristics of these parameters from the main sources of dynamic influence, the Authors highlighted the main ways of distribution of vibration on the example of the shovel. The paper analyzes the main factors causing vibration in various sources. Assessment of vibration impacts was conducted for different frequency bands. The article also describes the problem of reducing dynamic effects on human operator's shovel. Attention is paid to the application of various vibration isolation systems for building-road machines. The article compares active and passive systems of vibration protection. Also the comparative analysis of advantages and disadvantages of these systems. The authors investigated the effectiveness of using different systems of vibration protection. Analysis of efficacy parameters was performed at different frequencies, including frequencies greater than resonant frequency. The article draws attention to the fact that most perturbations observed at frequencies above resonance. Rationale for use of methods of mathematical modeling in the study of the parameters of the dynamic influences on the operator of road construction machinery.

**Keywords:** construction machinery; methods of vibration protection; dynamic effects; the sources and propagation of vibrations; active and passive systems of vibration protection; the efficiency of vibration protection systems; mathematical modeling of dynamic effects.



## REFERENCES

1. Ivanov N.I. Bor'ba s shumom i vibratsiyami na putevykh i stroitel'nykh mashinakh. – M.: Transport, 1987. – 223 s.
2. Kolesnikov A.E. Shum i vibratsiya. – L.: Sudostroenie, 1988. – 247 s.
3. Maslov G.S. Kolebaniya v mashinakh i elementy vibrozashchity: Ucheb. posobie / G.S. Maslov, V.S. Artem'ev, V.A. Makarov. – M., 1987. – 92 s.
4. Saybel' E.Ya. Uplotnenie gruntov gidromolotami / E.Ya. Saybel', L.V. Grishpun, K.K. Ivanov // Mekhanizatsiya stroitel'stva. – 1981. – №11. – S. 13–14.
5. Snizhenie dinamicheskikh vozdeystviy na odnokovshovyy ekskavator: Monografiya / V.S. Shcherbakov, P.A. Korchagin. - Omsk: Izd-vo SibADI, 2000. - 147 s.
6. Korchagin P.A. Sovershenstvovanie odnokovshovogo ekskavatora s tsel'yu snizheniya dinamicheskogo vozdeystviya na rabochee mesto cheloveka-operatora/: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Omsk, SibADI, 1997.
7. Chuprakov Yu.I. Gidravlicheskie sistemy zashchity cheloveka-operatora ot obshchey vibratsii. – M.: Mashinostroenie. – 1987 g. – 224 s.: il.
8. Pivtsaev A.N. Issledovanie ekskavatora s aktivnym rabochim organom s tsel'yu snizheniya dinamicheskikh vozdeystviy na cheloveka-operatora: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Omsk, SibADI, 1982. - 223 s.
9. Vibratsiya v tekhnike. Spravochnik v 6-ti tomakh. Tom 6. Pod red. Frolova, 1981 g.
10. Stepanov A.I. Snizhenie dinamicheskikh vozdeystviy na operatora avtogreydera na baze traktora ZTM – 82: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Omsk: SibADI, 2002. – 151 s.