

## **ФАКТОРЫ ОПАСНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МОТОРНОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ (часть 1)**

*Выявлены и проанализированы факторы экологической, производственной, пожарной и взрывной опасности процесса экспериментального определения рабочих характеристик фильтра твёрдых частиц дизеля новой конструкции на моторном исследовательском стенде, источником которых является трансмиссия стенда.*

*Ключевые слова: фильтр твёрдых частиц, дизель, моторные стендовые испытания.*

## **A.N. Kondratenko, S.A. Vambol', A.S. Stel'makh** **DANGER FACTORS OF EXPERIMENTAL STUDIES** **ON THE ENGINE TEST BANCH** **(part 1)**

*Identified and analyzed the factors of ecological, industrial, fire and explosion danger of the process for experimentally determination the performance of the diesel particulate matter filter with a new design for engine researching bench, the source of which is the transmission of the bench.*

*Key words: particulate matter filter, diesel, engine bench testing.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 11 февраля 2015 г.

Научно-исследовательские работы, направленные на выявление, анализ и максимальное снижение или же полное исключение факторов экологической, производственной, пожарной и взрывной опасности исследовательских установок и стендов, лабораторных помещений и их оборудования, **средств измерительной техники (СИТ)** и экспериментальных образцов являются обоснованными и актуальными, поскольку безопасность, здоровье и жизнь исследователя – это ценности, более высокого порядка, чем любые новые научные знания.

В отделе **поршневых энергоустановок (ПЭУ)** Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины (ИПМаш НАНУ) разработан **фильтр твёрдых частиц (ФТЧ)** для дизельных **двигателей внутреннего сгорания (ДВС)** [1]. Его рабочие характеристики в реальных условиях эксплуатации исследовались экспериментально на **моторном испытательном стенде (МИС)** лаборатории отдела ПЭУ. МИС состоит из следующих частей [2]:

- автотракторный дизель 2Ч10,5/12;
- нагрузочная машина постоянного тока (мотор-генератор) с динамометром и реостатным шкафом управления фирмы VSETIN;
- модернизированная система отбора проб **отработавших газов (ОГ)** на токсичность и дымность;

- система СИТ;
- трансмиссия станда;
- фундаментная рама;
- система управления стандом.

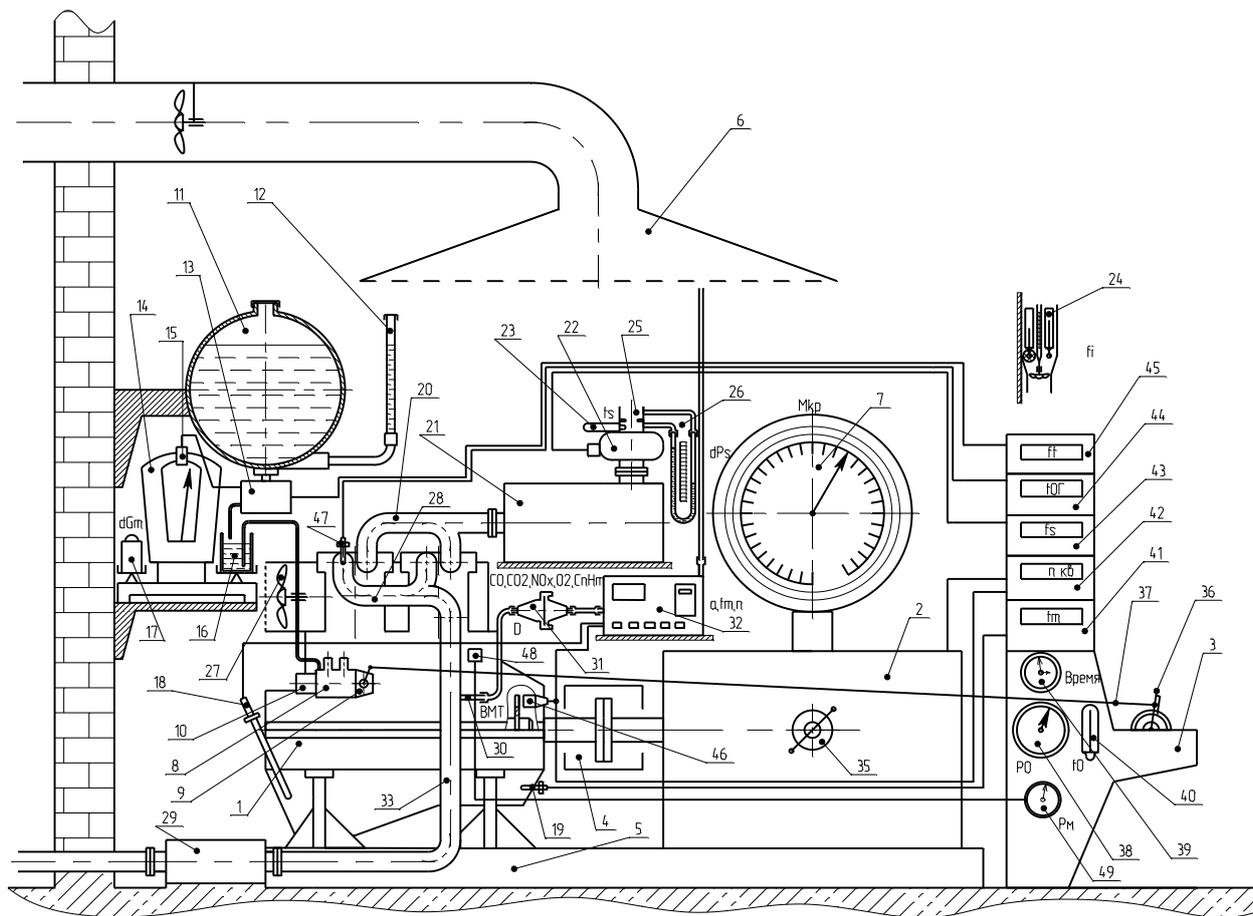
Схема МИС представлена на рис. 1, а его внешний вид – на рис. 2.

Все вышеперечисленные составляющие МИС являются потенциально опасными, характеризуются определёнными показателями экологической, производственной, пожарной и взрывной безопасности. Их большая часть – предмет предыдущих [2] и последующих исследований.

В данном исследовании выявлены и проанализированы факторы опасности, источником которых является *трансмиссия МИС*. Она соединяет маховик дизеля и входной фланец мотор-генератора шлицевым валом с двумя карданными шарнирами. Трансмиссия содержит накопители механической энергии (маховик и муфта нагрузочного устройства), детали карданных шарниров и мелкие детали их крепления, движущиеся с большими радиальными скоростями, и их траектории размещены на больших радиусах.

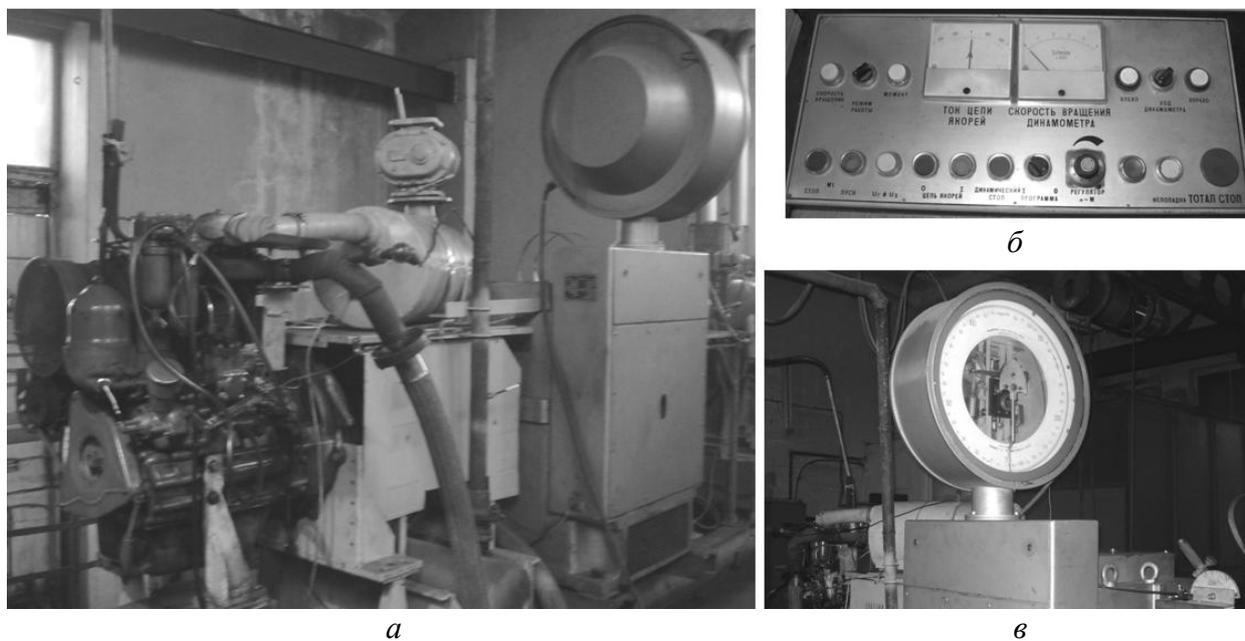
Двигатель 2Ч10,5/12 (Д21А1) – это автотракторный безнаддувный двухцилиндровый рядный четырёхтактный двухклапанный поршневой ДВС с непосредственным впрыском топлива в неразделённую полусферическую камеру сгорания в поршне, внутренним смесеобразованием и воспламенением от сжатия, качественным регулированием мощности; с традиционным тронковым аксиальным КШМ и полноопорным коленчатым валом, диаметром цилиндра – 105 мм, ходом поршня – 120 мм и длиной шатуна – 270 мм; с рабочим объёмом – 2,0 дм<sup>3</sup> и степенью сжатия – 16,5, максимальным крутящим моментом – 111 Н·м (при 1200 мин<sup>-1</sup>), удельным эффективным расходом топлива – 235 г/(кВт·ч); воздушного охлаждения и с комбинированной системой смазки; одноплунжерным ТНВД распределительного типа, гидромеханическими форсунками и всережимным механическим регулятором; массой – 280 кг и с габаритными размерами – 693×687×855 мм; с пуском от электростартера и со свечами накаливания, с минимальной частотой вращения коленчатого вала на режиме холостого хода 800 мин<sup>-1</sup>; производства Владимирского тракторного завода. Он применяется на тракторах, самоходных шасси и селекционных комбайнах, асфальто- и бетоноукладчиках, передвижных электросварочных, водонасосных и воздухокомпрессорных станциях. Поперечный разрез дизеля 2Ч10,5/12, поясняющий особенности его конструкции, приведён на рис. 3.

Среди вышеперечисленных деталей трансмиссии МИС наиболее опасной является маховик дизеля, как самая массивная из деталей, вращающихся с одинаковой частотой вращения. Его эскиз и расчётная схема представлены на рис. 4.

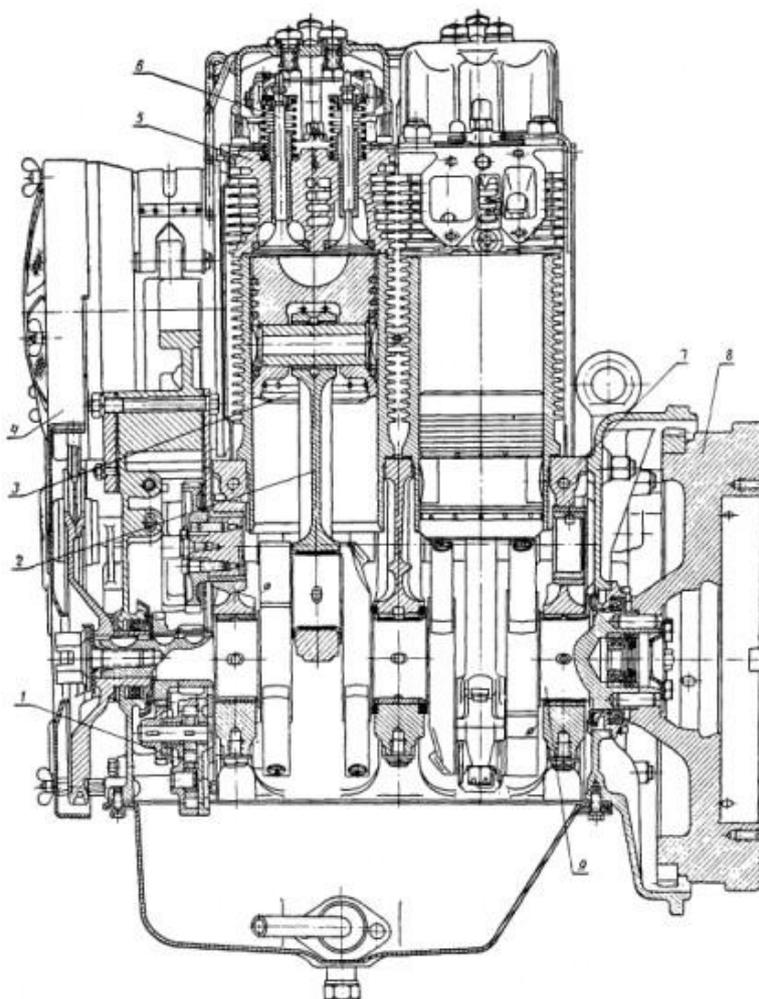


**Рис. 1.** Схема моторного испытательного стенда:

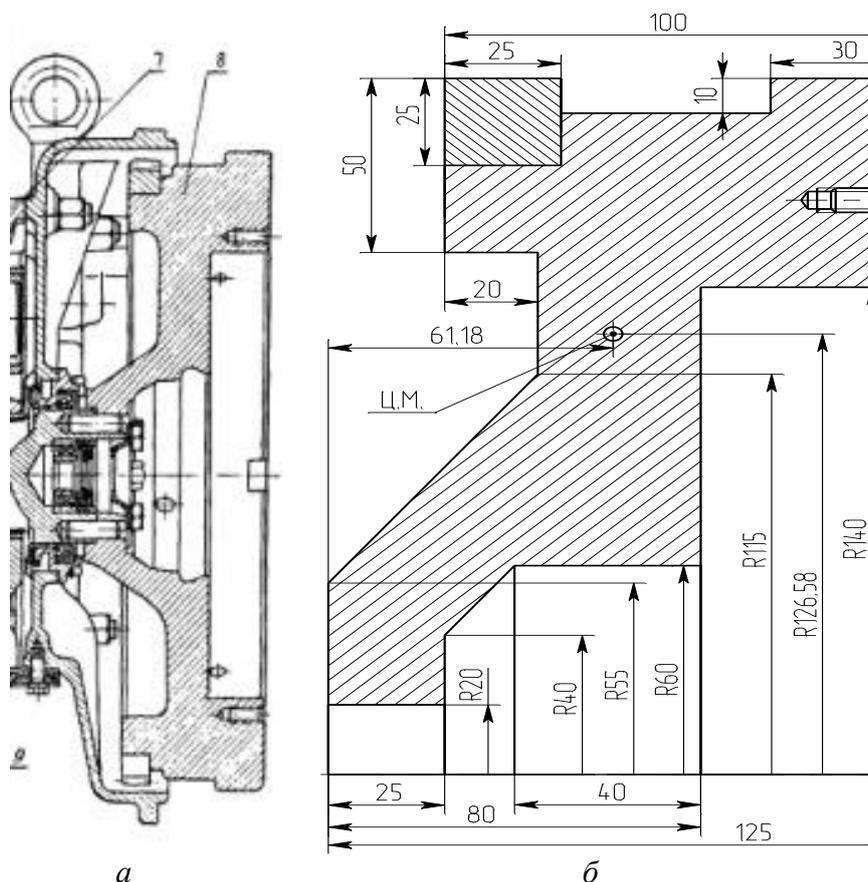
- 1 – дизель Д-21А1 (2С10,5/12); 2 – нагрузочное устройство (мотор-генератор ИР 924-4); 3 – пульт управления; 4 – карданный вал с защитным кожухом; 5 – фундаментная рама; 6 – вытяжная вентиляция лаборатории; 7 – динамометр DS 742-4/N; 8 – топливный насос высокого давления; 9 – всережимный механический регулятор частоты вращения коленчатого вала; 10 – муфта смены угла опережения впрыскивания топлива; 11 – бак топливный; 12 – указатель уровня топлива в баке; 13 – электрогидравлический автоматический клапан долива топлива; 14 – весы лабораторные 2 кл. ВЛР-200; 15 – оптический датчик; 16 – расходная емкость измерителя расхода топлива; 17 – навеска (эталонный вес); 18 – шуп-масломер или датчик температуры масла в поддоне дизеля; 19 – датчик температуры масла в поддоне дизеля ТМ100В; 20 – выпускной коллектор; 21 – впускной ресивер; 22 – счетчик газа ротационный РГ-100; 23, 40 – ртутный термометр ТЛ-4 №2; 24 – психрометр; 25 – дросселирующая шайба измерителя расхода воздуха на впуске; 26, 34 – дифференциальный U-образный манометр ДМ; 27 – вентилятор системы охлаждения дизеля; 28 – выпускной коллектор; 29 – глушитель шума ОГ; 30 – отборник проб ОГ на токсичность и дымность; 31 – держатель фильтра для определения дымности ОГ; 32 – газоанализатор пятикомпонентный Автотест-02.03П; 33 – выпускной тракт; 35 – отсоединительная муфта нагрузочного устройства; 36, 37 – ручка и тросик управления; 38 – барометр-анероид БАММ-1М; 39 – таймер; 41 – прибор А-565; 42, 43, 45 – частотомер-хронометр Ф-5040 или Ф-5041; 44 – прибор А-566; 46 – отметчик ВМТ; 47 – термометр сопротивления ТСМ; 48 – датчик давления масла; 49 – манометр МО



**Рис. 2.** Моторный испытательный стенд:  
*а* – общий вид стенда; *б* – пульт управления стендом;  
*в* – нагрузочное устройство с динамометром



**Рис. 3.** Дизель 2Ч10,5/12 (D21A1)



**Рис. 4.** Маховик дизеля 2Ч10,5/12 (а) и его расчётная схема (б)

Так как специфических данных о геометрических и механических параметрах маховика дизеля 2Ч10,5/12 в справочной литературе не обнаружено, для их определения использованы эскиз маховика (рис. 3, 4), данные о режимных параметрах этого дизеля и общеизвестные положения и подходы дисциплин "Теория ДВС" и "Прикладная механика".

Исследование показало, что средняя скорость поршня дизеля Д21А1 (на номинальном режиме его работы с частотой вращения к.в.  $1800 \text{ мин}^{-1}$ ) составляет  $7,2 \text{ м/с}$ . Масса маховика равна  $59,6 \text{ кг}$  (выполнен из серого чугуна с плотностью  $7200 \text{ кг/м}^3$ ), его наибольший радиус  $0,200 \text{ м}$ , радиус размещения деталей крепления –  $0,165 \text{ м}$ . Момент инерции маховика составляет  $0,95494 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  при радиусе центра масс его сечения –  $0,140 \text{ м}$ . Механическая энергия маховика равна  $16,965 \text{ кДж}$ . Для сравнения: дульная энергия выстрела из автомата АК-47 составляет, в зависимости от модификации автомата и патрона,  $1,8\text{-}2,2 \text{ кДж}$ . Максимальная линейная скорость движения зубьев зубчатого венца маховика равна  $37,7 \text{ м/с}$ , а их центробежное ускорение –  $7106,5 \text{ м/с}^2$ . Отломившийся зубец, при его массе  $15 \text{ г}$ , приобретает кинетическую энергию  $10,7 \text{ Дж}$  и силу инерции  $106,6 \text{ Н}$ . Максимальная линейная скорость движения деталей крепления трансмиссии (гаек, болтов, шайб, гроверов или их обломков) на том же режиме работы дизеля, при массах, сравнимых с массой зубца, равна  $30,2 \text{ м/с}$ , их центробежное ускорение –  $5862,8 \text{ м/с}^2$ , кинетическая энергия –  $6,8 \text{ Дж}$ , сила инерции –  $87,9 \text{ Н}$ .

Отрыв деталей крепления трансмиссии по причине разрушения или раскручивания может стать причиной механического поражения персонала лаборатории, её оборудования и помещения. Для предотвращения этих последствий на трансмиссии МИС установлен защитный кожух из листовой стали.

Отрыв маховика дизеля или фланцев крепления муфт трансмиссии может стать причиной разрушения защитного кожуха, картера маховика, оборудования и стен помещения лаборатории. Человека, оказавшегося на траектории своего движения при этом, маховик смертельно травмирует.

Дополнительным фактором риска является неопределённость направления возможного рикошета зубцов маховика и обломков деталей крепления трансмиссии или всего маховика от его картера, кожуха трансмиссии или фундаментной рамы МИС.

Для исключения травматизма такого генезиса следует избегать размещения исследователей во время работы дизеля в плоскостях вращения маховика и фланцев [7].

Таким образом, выявлены и проанализированы факторы опасности экспериментальных исследований на моторном испытательном стенде лаборатории отдела ПЭУ ИПМаш НАНУ, источником которых является трансмиссия стенда.

#### **Литература**

1. **Кондратенко А.Н., Строков А.П.** Применение природного цеолита для повышения экологических характеристик транспортных дизелей, находящихся в эксплуатации // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: вежвуз. сб. ст. Вып. XII. Белгород: БелГТУ, 2013. С. 210-215.
2. **Эфрос В.В. и др.** Дизели с воздушным охлаждением Владимирского тракторного завода. М.: Машиностроение, 1976. 277 с.