



ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ РАЗСТОЯНИЯ ПРИ ОЦЕНКА НА ВЗРИВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТТА НА АВТОМОБИЛНИ ГАЗОЗАРЯДНИ СТАНЦИИ

Иван Лазаров, Петър Казаков,
Златин Златев

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Напоследък благоприятната цена, ниските вредни емисии и сигурно предлагане на автогаз (*LPG - Liquefied petroleum gas*), както и повишаването на надеждността и безопасността при употреба на *автомобилните газови устройства (АГУ) и автомобилните газозарядни станции (АГС)*, способстват за възприемането на природния газ като едно от най-атраktivните горива в автотранспорта [1,2,3].

При транспортирането, съхранението, разпределянето (зарещдането) и употребата на автогаз, поради неговите специфични свойства (безцветен, със специфична миризма, неразтворим във вода, по-тежък от въздуха, силно запалим, образуващ с въздуха експлозивна смес), е наложително спазването на строги правила и норми, съдържащи проектно-строителни, организационни, техногенни (технически, технологични, експлоатационни) и антропогенни изисквания за организацията на безопасността при работа [4,5,6].

За целта е необходимо осигуряването на надеждната работа, както на всеки структурен елемент от *автомобилните газови устройства (АГУ) и автомобилните газозарядни станции (АГС)* поотделно, така и на тези системи като цяло (*Фиг. 1*).

DETERMINATION OF THE SAFE DISTANCES IN FIRE AND EXPLOSION SAFETY RISK ASSESSMENT OF VEHICLE GAS FUELING STATIONS

Ivan Lazarov, Petar Kazakov,
Zlatin Zlatev

1. INTRODUCTION

Recently, favorable price, low emissions and secure supply of auto gas (*LPG - Liquefied petroleum gas*), as well as enhancing the reliability and safety in use of *gas devices (LPG) and automotive gas filling stations (AGS)*, contribute to the perception of natural gas as one of the most attractive fuels for road transport [1,2,3].

During transportation, storage, distribution (refueling) and the use of autogas, because of its specific properties (colorless with smell, insoluble in water, heavier than air, highly flammable, forming an explosive mixture with air), it is imperative that strict rules and regulations containing design and construction, organizational and human induced (technical, technological, operational) and anthropogenic requirements for the organization of safety at work [4,5,6].

This requires ensuring the reliable operation, as each structural element of *automotive gas installations (LPG) and automotive gas filling stations (AGFS)* separately, and those systems as a whole (*Fig. 1*).



Фиг. 1. Автомобилна газозарядна станция - външен вид
 Fig. 1. Vehicle propane filling station – general view

Към АГС трябва да е предвидено регламентирано изхвърляне (дрениране) на горимите газове:

- от устройствата за аварийно дрениране при сработване на предпазните клапани;
- при постоянното, предвидено от технологичните регламенти дрениране на горимите газове;
- при периодично дрениране на газовите пари, при запускане, настройка и монтиране на технологичните обекти.

Изхвърлянето (отделянето, дренажа) на парите на LPG в атмосферата трябва да става чрез **система за газоизхвърляне** (СГИ). Тя е предназначена да се изключи въздействието на поразяващите фактори върху персонала на АГС и извън границите ѝ в случай на възпламеняване на газовете и последващото горене. Също е недопустимо и превишаването на пределно допустимите концентрации (ПДК) на тези газове в работната зона и извън границите на АГС.

При това, температурата на изхвърляните горими газове и пари на изхода от технологичната система на АГС не трябва да надхвърля $+200^{\circ}\text{C}$ или да е под -100°C .

Допустимостта за изхвърляне (дрениране) на горимите газове трябва да

At AGFS must be provided regulated disposal (drainage) of flammable gases:

- the devices for emergency drainage upon activation of safety valves;
- at constant provided by the technical specifications draining of combustible gases;
- in periodically draining the gas vapor, on start-up, operation and installation of technological facilities.

Disposal (separation, drainage) the vapor of LPG in the atmosphere should be a **system of gas disposal** (SGD). It is designed to exclude the impact of the striking factors on the staff of AGFS and outside its borders in the event of ignition of gases and subsequent combustion. It is also unacceptable and exceeded the limit concentrations of (ELC) of these gases in the work area and outside the AGS.

Moreover, the temperature of the discharged combustible gases and vapors at the outlet of the technological system of AGFS should not exceed $+200^{\circ}\text{C}$ or is below -100°C .

бъде потвърдена чрез пресмятане на пропускателната способност, предвид изискванията към СГИ от предпазните клапани.

2. СИСТЕМАТА ЗА ГАЗОИЗХВЪРЛЯНЕ КАТО ЕЛЕМЕНТ ОТ ОБЩАТА СИСТЕМА ЗА ОБЕЗОПАСЯВАНЕ НА АГС

На етапа на проектирането, с оглед осигуряване на подходящи условия за взриво-пожаробезопасността на АГС при експлоатация, е необходимо технологичната схема на процеса да бъде разпределена на отделни технологични модули.

Отвеждането на газа от предпазните клапани на резервоара и другото оборудване на АГС става чрез тръбопроводи, които трябва да са изведени на височина, определяна чрез пресмятане, но не по-малка от 3 m от нивото на настилка на обслужващата резервоара площадка. Допустимо е присъединяване на няколко предпазни клапана към един отвеждащ (дренажен) тръбопровод.

Към системата за газоизхвърляне на АГС трябва да бъде проектирано специално устройство - **продухвателна свещ** за изпускане (насочване) в атмосферата на «топли» (с температура от +200°C до -100°C) пари и газове (на метана, природния газ).

За предупреждаване за образуване в свещта на условия за разпространяване на пламък вътре в нея е необходимо да се използват огнепреградители и обратни клапани (*Фиг. 2*).

Устройството на продухвателната свещ за «топлите» газове и условията за дрениране трябва да осигуряват ефективно разсейване на изхвърляните газови пари, изключващи образуване на взривоопасни концентрации в зоната на разполагане на технологичното оборудване, сградите и съоръженията. Височината на свещта се

The eligibility for disposal (drainage) of combustion gases must be confirmed by calculating the bandwidth requirements for SGD regarding to the safety valves.

2. GAS DISPOSAL SYSTEM AS ELEMENT OF COMMON SAFETY OF AGFS

At the design stage to ensure appropriate conditions for explosion and fire safety of AGFS is essential in operation of the technological scheme of the process to be distributed to individual technological modules.

Removal of gas from the tank safety valves and other equipment of AGFS going through pipelines that must be derived at a height determined by calculation, but not less than 3m from the floor level of service reservoir site. It is permissible to join several safety valve to a discharge (drainage) pipe.

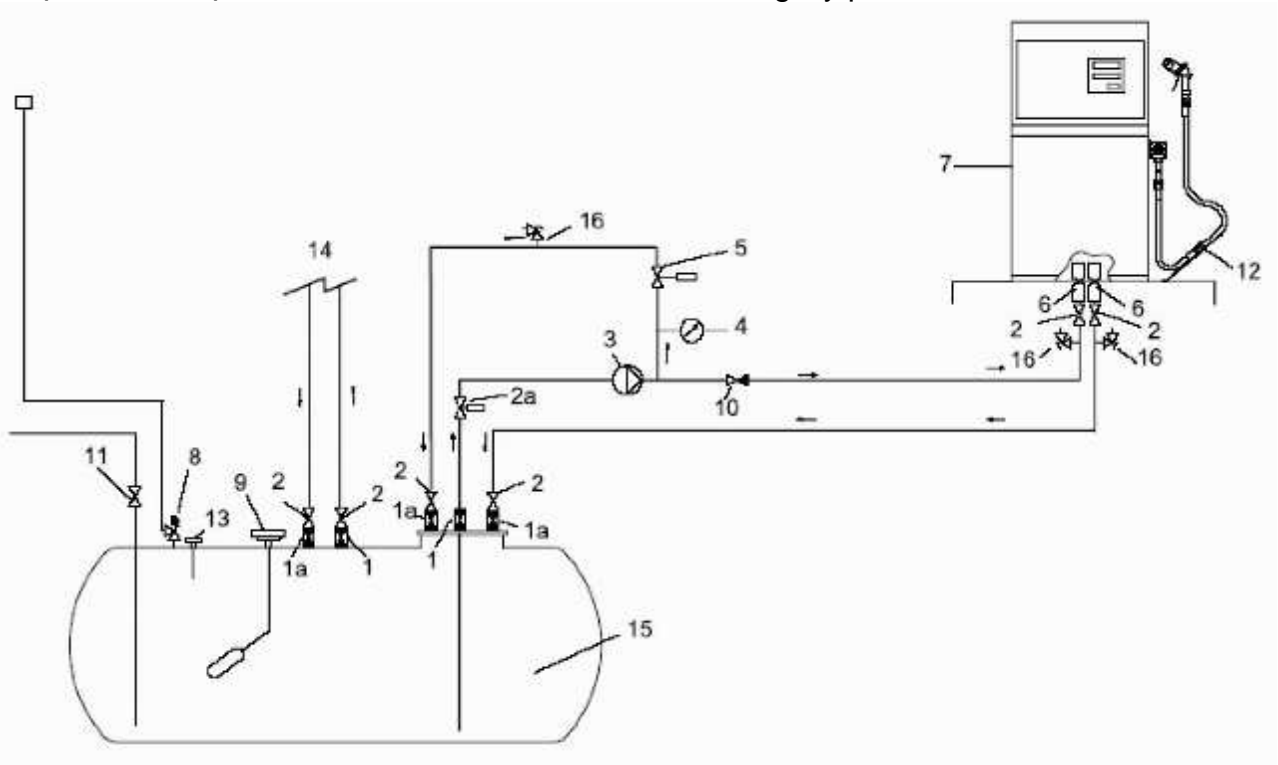
System of gas disposal of AGFS must be designed a special device - **scavenging candle** for release (targeting) in the atmosphere of «warm» (with a temperature of +200°C to -100°C) vapors and gases (methane, natural gas).

Warning candle formation in the conditions of propagation of a flame inside it is necessary to use Flame Arresters and check valves (*Fig.2*).

The structure of scavenging candle for «warm» gases and drainage conditions should provide an effective dispersion of exhaust gas vapors, exclusive formation of explosive concentrations in the area of deployment of technological equipment, buildings and facilities. The height of the candle is

определя чрез пресмятане, но е недопустимо да бъде по-малка от нормативно предписаната такава.

determined by calculation, but it is unacceptable to be smaller than the legally prescribed one.



Фиг. 2. Принципна схема на автомобилна газозарядна станция
 Позиция 8 - предпазно-изпускателен клапан за надналягане с продухvatелна свещ
Fig. 2. Schematic diagram of vehicle gas filling station
 Position 8 safety-release valve for overpressure with scavenging system

3. СЪСТАВ И ИЗИСКВАНИЯ КЪМ СИСТЕМАТА ЗА ГАЗОИЗХВЪРЛЯНЕ

Системата за газоизхвърляне към АСГ е съставена от:

- ствол на свещта, снабдена с накрайник и лабиринтно уплътнение;
- система за възпламеняване;
- средства за контрол и автоматика;
- свързващи тръбопроводи.

За възпламеняване на отпадните газове и осигуряване на стабилното горене ствола на свещта трябва да е оборудван с дистанционно електрозапалително устройство (с I категория на надеждност на електро-снабдяването), подвеждащи тръбопроводи за «топъл» газ и дежурни горелки с възпламенители.

Изискванията към СГИ при проектиране са:

- Изхвърлянето (дренажа) на парите на LPG от газоизхвърлящите клапани,

3. COMPOSITION AND REQUIREMENTS FOR GAS DISPOSAL SYSTEM

Gas discharge system to the AGFS is composed of:

- trunk of the candle equipped with a nozzle and a labyrinth seal;
- ignition system;
- equipment for control and automation;
- connecting pipelines.

To ignite the waste gases and ensure stable combustion trunk of the candle must be equipped with remote Spark drive (category I of reliability of electricity supply), misleading pipelines for «warm» and duty gas burners with igniters.

Design requirements os SGD are:

- discharge (drainage) steam of LPG

монтирани към резервоарите на АСГ, трябва да се насочват по отделни тръбопроводи от всеки резервоар в специален колектор и към самостоятелна установка за изгаряне на парите;

- Изхвърлянето през предпазноизпускателните клапани и други аварийни устройства от технологичните блокове трябва да се насочва в самостоятелна система, не свързана със системата за дренаж от газоизхвърлящите клапани на резервоарите.

4. ПРЕДПОСТАВКИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ВЗРИВО-ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТТА НА АСГ

Разстоянието между продухателната свещ и технологичното оборудване на сградите и съоръженията на АСГ трябва да се определят от условията за допустимите въздействия от неблагоприятни фактори върху хората, сградите и съоръженията в случай на неконтролирано възпламеняване на горимия газ на границата на свещта.

За събиране парите на LPG от газоизпускателните клапани на резервоарите трябва да се предвиди специален колектор. Той трябва да бъде пресметнат за преминаване на максимално количество образуващи се във всичките резервоари пари от системата за съхранение на LPG при всички възможни съчетания на факторите, създаващи надналягане в тях (освен топлинното въздействие при пожар).

Загубите на налягане в СГИ (от резервоара до върха на ствола на свещта) при максимално изхвърляне трябва да бъде не повече от стойността на максимално допустимото надвишаване на налягането в резервоарите на АСГ (според технологичните регламенти), при което започва сработването на предпазните клапани за пряко изхвърляне в атмосферата.

Пресмятането на пропускателната

from gas ejecting valves fitted to tanks of SGD should be directed in separate pipes from each tank in a special collector and to the separate installation for the burning vapor;

- Disposal through safety-relief valves and other emergency devices of technological blocks should be directed into a single system not connected to the drainage system of the gas ejecting valves of the tanks.

4. PREREQUISITE FOR ENSURING EXPLOSION-FIRE SAFETY OF AGFS

The distance between the vent-pipe and technological equipment of buildings and facilities of AGFS should be determined by conditions on the limit impacts of unfavorable factors on people, buildings and equipment in case of an uncontrolled ignition of flammable gas outside of the vent-pipe.

To collect vapor of LPG from gas exhaust valves of the tanks must be made special collector. It should be calculated for passing the maximum amount formed in all tanks vapor from the storage system of LPG in all possible combinations of the factors creating overpressure in them (except thermal impact during the fire).

The pressure losses in SGD (from the tank to the top of the trunk of a vent-pipe) at maximum discharge should be no more than the maximum value exceeding the pressure in the tanks of AGFS (according to the technical specifications), which began in tripping of safety valves directly discharge into the atmosphere.

Calculating the flow capacity of

способност на продухвтелната свещ от технологичните блокове на АСГ се базира на следните предпоставки:

- за *тръбопроводи* от отделен технологичен блок до общия колектор - по максималното аварийно изхвърляне от един апарат от съответния блок;
- за *колектора* - по аварийното изхвърляне на този технологичен блок с максимално изхвърляне, в сравнение с останалите (с коефициент $k=1,2$).

Загубата на налягане в тази система (до върха на ствола на свещта) при максимално газоизхвърляне не трябва да надхвърля 0,1 МПа.

Стволът на свещта трябва да се максимално доближава до технологичните модули с цел минимизиране дължината на колектора, но не по-близо от необходимото безопасно разстояние. Височината на ствола на свещта трябва да се пресметне в зависимост от плътността на топлинния поток.

5. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ РАЗСТОЯНИЯ ПРИ ОСИГУРЯВАНЕ НА ВЗРИВО-ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТТА НА АСГ

5.1. Минимална височина на продухвтелната свещ

Осигуряването на взриво-пожаробезопасността, т.е. изключването на възможността за образуване на взривоопасни концентрации при използване на газосборните тръби в зоната на АГС, налага пресмятания на разсейването на изхвърляните пари до степен, изключваща достигането на долната концентрационна граница на разпространение на пламъка в приземния атмосферен слой ($h = 2$ m).

На изходния участък на продухвтелната свещ трябва да се предвидят специални устройства за подобряване на разсейването на дренирания газообразен LPG с огнеотсекатели.

vent-pipe technological blocks of AGFS is based the following preconditions:

- for *pipelines* of individual technological block to the total collector - a maximum accidental release of one unit of the respective block;
- *collector* - in emergency disposal of this technological block with maximum disposal compared with others (with a coefficient $k=1,2$).

The pressure loss in the system (to the top of the trunk of a vent-pipe) at maximum gas discharges must not exceed 0,1 MPa.

The trunk of the vent-pipe should make maximum comes close to technology modules in order to minimize the length of the collector, but no closer than necessary safe distance. The height of the stem of the vent-pipe has to be calculated depending on the density of the heat flow.

5. DEFINITION OF SECURITY SAFETY DISTANCES FOR THE EXPLOSIVE FIRE SAFETY-OF ACG

5.1. Minimal height of the vent-pipe

Ensuring explosion – fire safety, ie exclude the possibility of formation of explosive concentrations using gas pipes in the assembly area of AGS requires calculations dissipation discharges vapor to the exclusion of reaching the lower concentration limit of flame propagation in the surface layer ($h=2$ m).

The output section of vent-pipe should be made for special devices to improve the diffusion of gaseous LPG drained with fiery gates.

Based on the requirement to

Изхождайки от условието за осигуряване на ефективно разсейване (с максимална приземна концентрация, ненадхвърляща 20% от долната концентрационна граница на разпространение на пламъка C) се определя минималната височина на продухвтелната свещ по формулата:

$$h_{min} = 1,75 \cdot M \cdot d \cdot (V \cdot C)^{-1} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

където h_{min} е минималната височина на продухвтелната свещ, m ;

M - масовият разход на изхвърляните газове, g/s ;

d - диаметъра на трубопровода на продухвтелната свещ, m ;

V - обемният разход на изхвърляния газ при нормално налягане, m^3/s ;

C - долната концентрационна граница на разпространение на пламъка, g/m^3 ;

ρ, ρ_0 - съответно, плътността на изхвърляния газ и тази на околния въздух, kg/m^3 .

5.2. Надналягане при компресиране на LPG при неконтролирано възпламеняване на газовата струя

Надналягането при компресиране на LPG се определя по израза:

$$\Delta P_{max} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{1 + 0,36 \left(\frac{v}{D} \right)^2}, \quad (2)$$

където ΔP_{max} е максималното надналягане по фронта на пламъка, kPa ;

ρ - плътността на сместа, kg/m^3 , приема се $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$;

v - скоростта на разпространение на пламъка, m/s , $v = 65 \text{ m/s}$ при обем на горимата смес $< 500 \text{ m}^3$;

Изменението на надналягането на разстояние (X) се пресмята по следния израз:

$$\Delta P = \Delta P_{max} \text{ при } X_0 = X/R < 1; \quad (3)$$

ensure effective dissipation (maximum ground-level concentration not exceeding 20% of the lower concentration limit of flame propagation C) defines the minimum height of vent-pipe formula:

where h_{min} is minimum height of the vent-pipe, m ;

M – mass flow of exhaust gas, g/s ;

d – diameter of the vent-pipe, m ;

V – the flow rate of gas discharges at atmospheric pressure, m^3/s ;

C – the lower concentration limit of flame propagation, g/m^3 ;

ρ, ρ_0 – the density of gas emissions and the ambient air, kg/m^3 .

5.2. Overpressure in compression of LPG from uncontrolled ignition of the gas spray

The excess pressure in compression of LPG is determined by the expression:

where ΔP_{max} the maximum overpressure in front of the flame, kPa ;

ρ – density of the mixture, kg/m^3 , it is accepted $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$;

v – the rate of flame spread, m/s , $v = 65 \text{ m/s}$ under the volume of the combustible mixture $< 500 \text{ m}^3$;

Amendment of overpressure distance (X) is calculated by the following expression:

$$\Delta P_{max} = \frac{\Delta P_{max}}{1 + B(X_0 - 1)^C}, \text{ при } X_0 > 1, \quad (4)$$

където ΔP е надналягането при компресиране на разстояние X от мястото на възпламеняване на струята горим газ, kPa;

X_0 - приведеното разстояние;

R – радиусът на облака от продуктите на изгарянето, m ;

B, C - безразмерни коефициенти, зависещи от v ; при $v = 65$ - $B = 0,588, C = 1,146$.

Радиус на облака от продуктите на изгарянето

Радиусът на облака от продуктите на изгарянето R (в m) се определя по израза:

$$R = 0,62 \cdot \sqrt[3]{V_{CM} \cdot \varepsilon}, \quad (5)$$

където V_{CM} е взривоопасния обем на струята, m^3 ;

$\varepsilon = 0,5(\varepsilon_H + \varepsilon_{CTX})$ – средната стойност на коефициента на разширение, равна на 6,3.

За целите на проектирането представяме обема на струята на взривоопасната смес под формата на конус с ъгъл 15° между оста и образуващата. Предполага се, че взривоопасният обем струя е равен на обема на конуса с височина L_H (в m), съответстващ на повърхнина с концентрация, равна на долната концентрационна граница на разпространение на пламъка:

$$L_H = \frac{1,87 \cdot d}{C_H} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T_g} \left[C_H + \frac{M_0}{M_g} \cdot (1 - C_H) \right]}, \quad (6)$$

където d е диаметъра на свещта;

C_H - долната концентрационна граница на разпространение на пламъка;

T_0, M_0 - температурата и молекулярното

where ΔP is excess pressure under compression of distance X from the point of ignition of combustible gas flow, kPa;

X_0 – adduced distance;

R – the radius of the cloud of combustion products, m ;

B, C – dimensionless coefficients depending on v ; with $v = 65$ – $B = 0,588, C = 1,146$.

5.3. Radius of the cloud of combustion products

The radius of the cloud of products of combustion R (in m) is determined by the expression:

where V_{CM} is the explosion hazard the volume flow, m^3 ;

$\varepsilon = 0,5(\varepsilon_H + \varepsilon_{CTX})$ – the mean value of the coefficient of expansion equal to 6,3.

For the purposes of presenting the design volume flow of the explosive mixture in the form of a cone angle of 15° between the axis and forming. It is assumed that the explosive volume flow rate is equal to the volume of the cone height LH (in m), corresponding to a surface concentration equal to the lower concentration limit of flame propagation:

where d the diameter of the vent-pipe;

C_H – the lower concentration limit of flame propagation;

T_0, M_0 – temperature and the

тегло на средата, в която става изтичането;
 T_g, M_g - температурата и молекулярното
тегло на изтичащия газ.

5.4. Обем на взривоопасната смес

Обемът взривоопасна смес V_{CM} (в m^3) е:

$$V_{CM} = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot L_H, \quad (7)$$

където $r = L_H \operatorname{tg} (15^\circ)$ е радиусът на
конуса, m ,

$$V_{CM} = 6851,3 \cdot d^3 \quad (8)$$

Минималните разстояния от свещта до другите обекти на АСГ се избират по условията за безопасност за човека по надналягането при компресиране на LPG. Препоръчително е като гранична стойност да се приеме $\Delta P = 3$ кПа, която е практически безопасна за човека, както и за сградите и технологичните съоръжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С настоящия труд авторите предлагат методичен подход за осигуряване на взривопожаробезопасността на автомобилни газозарядни станции чрез представяне на системата за газоизхвърляне като елемент от общата система за обезопасяване.

Предлаганият подход способства за минимизиране на зоните с опасни концентрации и размерите на факела от горящи газове чрез определяне на безопасните разстояния от АСГ и проектното пресмятане на:

- ❖ параметрите на продухvatелната свещ;
- ❖ надналягането при компресиране на LPG при неконтролирано възпламеняване на газовата струя;
- ❖ обхвата на облака от продуктите на изгарянето и обема на взривоопасната смес.

molecular weight of the medium in which it expires;

T_g, M_g – temperature and the molecular weight of the effluent gas.

5.4. Volume of the explosive mixture

The volume of the explosive mixture V_{CM} (в m^3) is:

where $r = L_H \operatorname{tg} (15^\circ)$ It is the radius of the cone, m ,

Minimum distances from the vent-pipe to other sites AGFS be selected in terms of safety for human excess pressure under compression of LPG. It is recommended that a limit be considered $\Delta P = 3$ kPa, which is practically safe for humans, as well as buildings and technical equipment.

CONCLUSION

With this work the authors propose a methodical approach to ensuring fire safety explosion of automobile gas filling stations by producing gas disposal system as part of the overall restraint system.

The proposed approach helps to minimize the areas with dangerous concentrations and size of the torch from combustion gases by setting a safe distance from the AGFS project and calculation of:

- ❖ parameters of the vent-pipe;
- ❖ overpressure under compression of LPG from uncontrolled ignition of the gas spray;
- ❖ the scope of the cloud of combustion products and the volume of the explosive mixture.

ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] *Димитров, А., З. Иванов.* (2002) Автомобилни газове уредби. С., "Техника", ISBN-954-03-0619-1.
- [2] *Димитров, А., З. Иванов, Л. Ловато.* (1996) Привеждане на съвременните автомобили за работа с втечен газ пропан-бутан. Пловдив, НТК "Хемус'96".
- [3] *Димитров, А., З. Иванов, М. Бояджиев, Р. Христов.* (2006) Използване на природен газ в автомобилния транспорт и опазване на околната среда в Република България. Варна, НТК „ТРАНСПОРТ, ЕКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ ЕКО-ВАРНА'06“, ТУ- Варна, ISBN-954-20-00030, с. 7-15.
- [4] *Лазаров, И., П. Казаков, З. Златев.* (2015) Методични аспекти при оценка на взривобезопасността на автомобилни газозарядни станции. Сб.докл. от XXI НТКМУ "ЕКО-ВАРНА 2015", ТУ- Варна.
- [5] *DSF/PrEN 14678-2* LPG Equipment and accessories - Equipment for liquefied petroleum gas automotive filling stations - Part 2: Components other than dispensers, and installation requirements.
- [6] *PB08-342-00.*

За контакти:

Тракийски университет – Ст. Загора,
Факултет „Техника и технологии“ – Ямбол
8600, Ямбол, ул. „Граф Игнатиев“ № 38, п.к. 110.

- *Доц. д-р инж. Иван Ст. Лазаров*, катедра „Енергетика“;
GSM: (+359 87) 811-55-86, e-mail: isl51@abv.bg
- *Ас. д-р инж. Петър Казаков* - катедра „Машинно инженерство“;
GSM: (+359 87) 840-44-99; e-mail: peter_yb@abv.bg
- *Ас. инж. Златин Златев* - катедра „Електротехника, електроника и автоматика“; GSM: (+359 89) 785-99-12, e-mail: zlatinzlatev@hacker.bg