

УДК 614.835.4

**БЕЗОПАСНОСТЬ ХРАНЕНИЯ ШИРОКОЙ ФРАКЦИИ
ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

SAFETY OF STORING THE LIGHT HYDROCARBONS BROAD FRACTION

В. Н. Пермяков, М. В. Омельчук

V. N. Permyakov, M. V. Omelchuk

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: широкая фракция легких углеводородов;
интенсивность испарения*

Key words: broad fraction of light hydrocarbons; evaporation rate

Широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ) является одним из продуктов, получаемых в результате сепарации на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ), сырьем для которых служит попутный нефтяной газ и газоконденсат. Углеводородный состав ШФЛУ, рассмотренной в данной работе, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Углеводородный состав ШФЛУ

Продукт	Химическая формула	Массовое содержание, %
Метан	CH_4	0,1 ÷ 0,4
Этан	C_2H_6	1,4 ÷ 3,5
Пропан	C_3H_8	30 ÷ 45
н-Бутан	$\text{n-C}_4\text{H}_{10}$	24 ÷ 30
Изобутан	$\text{i-C}_4\text{H}_{10}$	14 ÷ 17
н-Пентан	$\text{n-C}_5\text{H}_{12}$	5 ÷ 10
Изопентан	$\text{i-C}_5\text{H}_{12}$	5 ÷ 8
Гексан	C_6H_{14}	1,5 ÷ 2
Гептан	C_7H_{16}	3,3
Октан	C_8H_{18}	1,2
Нонан	C_9H_{20}	0,16
Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	0,06

Для жидкой фазы ШФЛУ характерен высокий коэффициент объемного расширения. Паровая фаза имеет плотность, в 1,5–2 раза превышающую плотность воздуха (плотность газовой фазы при нормальных условиях: пропан 2,019 кг/м³, бутан 2,703 кг/м³), и образует конденсат при повышении давления или при понижении температуры. Паровая фаза с трудом рассеивается в воздухе, потому что обладает медленной диффузией. Плотность паров ШФЛУ больше, чем у воздуха, и это создает предпосылки их накопления в ложбинах и застойных зонах. Газ может распространиться по земле на значительные расстояния (до нескольких сотен метров). При испарении 1 дм³ жидкой фазы образуется около 250 дм³ газообразной. Поэтому даже незначительная утечка ШФЛУ может представлять опасность, так как объем вещества при испарении увеличивается в 250 раз [1, 2].

Пожароопасность ШФЛУ характеризуется следующими свойствами: низкими пределами воспламеняемости (взрываемости) и температурой воспламенения паровой фазы, значительной теплотой, выделяемой при сгорании газовой смеси, высокой температурой горения, потребностью большого количества воздуха при горении. В таблице 2 сопоставлены нижний и верхний пределы горения (нкл₁ и вкл₁) и детонации (нкл₂ и вкл₂) основных веществ, входящих в состав ШФЛУ. Сравнение выполнено для объемного содержания углеводородов в воздухе [3].

Пределы горения и детонации пропана и бутана

Вещество	Формула	нkp ₁	вkp ₁	нkp ₂	вkp ₂
Пропан	C ₃ H ₈	2,2	9,5	3	7
Бутан	C ₄ H ₁₀	1,9	8,5	2,5	5,2

Пропан и бутан легко воспламеняются, обладают высокой теплотворной способностью и представляют значительную опасность с точки зрения безопасности. Взрывоопасность объектов производства определяется не только объемами и свойствами обращающихся веществ, но также характером и особенностями технологических процессов.

Большую опасность представляют объекты хранения газа в надземных резервуарах. В случае возгорания газов характерны: быстрое развитие огня, возможность взрывов резервуаров, малая эффективность обычных средств пожаротушения. В значительной степени последствия аварийных ситуаций будут определяться количеством ШФЛУ, перешедшей в газообразное состояние.

Анализ обстоятельств испарения ШФЛУ показывает, что источник опасного вещества функционирует как комбинированный двухстадийный объект потенциальной опасности.

На 1-ой стадии аварии: источник функционирует как кратковременный импульсный объект опасности, выбрасывающий в атмосферу часть исходной массы энергоносителя (ШФЛУ) в процессе «мгновенного» испарения части сжиженного газа.

На 2-ой стадии аварии: источник функционирует как долговременный объект опасности, выбрасывающий в течение протяженного отрезка времени другую часть энергоносителя в процессе испарения вещества с поверхности пролива.

После и во время подготовительной стадии разлива и испарения ШФЛУ происходят сложные процессы смешения паров ШФЛУ с воздухом. При этом доля массы ШФЛУ, переходящая в парообразное состояние, не сможет полностью принять участие во взрывном превращении. Состав смеси в облаке будет изменяться от чистого воздуха на границе облака до чистого горючего в центре выброса. Внутри облака будут иметься две перемещающиеся со временем поверхности сложной формы. На одной поверхности концентрация ШФЛУ равна своему значению на верхнем (богатом) пределе горения (около 8 ÷ 9 %), а на другой — соответствует нижнему (бедному) пределу горения (около 2 %).

Энергетика вероятного воздушного взрыва смеси ШФЛУ зависит от количества (доли) массы топлива, способного испариться при выбросе на грунт. Наихудшая ситуация ожидается в летний период при повышенной температуре атмосферного воздуха. В связи с этим потенциальная угроза взрыва должна оцениваться при положительной температуре воздуха. Во всех остальных случаях доля топлива, быстро переходящая в парообразное состояние, окажется менее значительной. Оставшаяся часть горючего на грунте $\psi = 1 - \phi$ будет испаряться в течение достаточно длительного промежутка времени $\tau_{\text{исп}}$.

На рисунке 1 показаны расчетно-экспериментальные данные доли мгновенно испаренной массы ШФЛУ ϕ и интенсивности испарения оставшейся доли жидкости Ψ при различной температуре хранения вещества, для пролива 264 960 кг жидкой ШФЛУ на глинисто-песчаный грунт без обвалования. Температура окружающей среды составляет 20 °С. Почти сразу после разрушения емкости при температуре хранения 20 °С испаряется 84 136 кг ШФЛУ, то есть $\phi = 0,318$. При температуре хранения –8 °С доля начально испарившейся жидкости составляет $\phi = 0,172$ (45 585 кг). Оставшаяся часть ШФЛУ Ψ испаряется в течение длительного промежутка времени [4, 5].

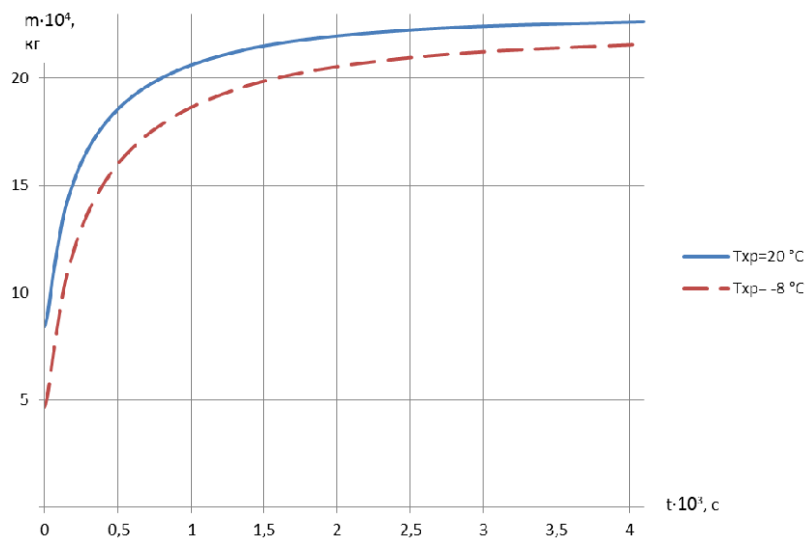


Рис. 1. Изменение массы испарившейся ШФЛУ во времени при различной температуре хранения вещества ($m^0 = 264960$ кг; $T_{окр} = 20$ °C)

На рисунке 2 показаны расчетно-экспериментальные данные доли мгновенно испаренной массы ШФЛУ ϕ и интенсивности испарения оставшейся доли жидкости Ψ при различной температуре окружающей среды [5, 6], для пролива 264 960 кг жидкой ШФЛУ на глинисто-песчаный грунт без обвалования. Температура хранения вещества равна температуре окружающей среды. Почти сразу после разрушения емкости при температуре 20 °C испаряется 84 136 кг ШФЛУ, то есть $\phi = 0,318$. При температуре $T_{хр} = 35$ °C доля начально испарившейся жидкости составляет $\phi = 0,392$, а при $T_{хр} = -40$ °C $\phi = 0,011$.

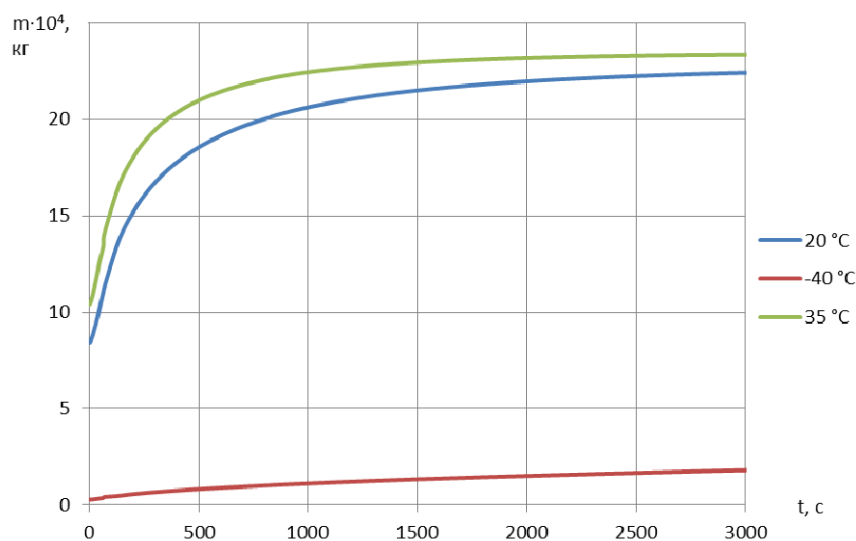


Рис. 2. Изменение массы испарившейся ШФЛУ во времени при различных температурах окружающей среды ($m^0 = 264960$ кг, $T_{хр} = T_{окр}$)

Хранение ШФЛУ в неизотермических емкостях увеличивает опасность в летний период при повышенной температуре атмосферного воздуха.

Ввиду значительной интенсивности испарения ШФЛУ и пожаровзрывоопасности вещества основное внимание следует уделить предотвращению аварийных ситуаций. Для предупреждения разрушения емкостей с ШФЛУ целесообразно выполнение следующих мероприятий [7]:

- техническое диагностирование указанных емкостей с целью исключения недопустимых дефектов или утончения стенки;
- анализ истории нагружения сосудов для оценки накопленных повреждений, еще не проявившихся в виде традиционных дефектов типа трещин;
- оценка напряженного состояния резервуаров (возможная неравномерность нагрузки на опоры) и наличия развивающихся дефектов;
- перевод емкостей на изотермическое хранение;
- оснащение всех емкостей системой охлаждения для предотвращения перегрева в случае пожара на близлежащей территории;
- предотвращение несанкционированного воздействия (преднамеренного разрушения хранилищ в наиболее опасное время года).

Таким образом, снижение температуры хранения и температуры окружающей среды затрудняет образование паровой фазы и, тем самым, снижает геометрические размеры опасных зон по всем факторам воздействия.

Список литературы

1. Курицын Б. Н. Системы снабжения сжиженным газом. – Саратов: изд-во СГУ, 1988. – 196 с.
2. Пермяков В. Н., Парфенов В. Г., Омельчук М. В. Повышение устойчивости объектов хранения сжиженных углеводородных газов с использованием технологии вычислительной гидродинамики // Естественные и технические науки. – 2013. – № 4. – С. 316-319.
3. Нетлетон М. Детонация в газах. – М.: Мир, 1989 – 280 с.
4. Махутов Н. А., Пермяков В. Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. – Новосибирск: Наука, 2005. – 516 с.
5. Пермяков В. Н. Оценка поражающих факторов от основных источников опасности на товарном парке ГПЗ при хранении ШФЛУ. – Тюмень: НТЦ СНГП, 1997. – 136 с.
6. Пермяков В. Н., Омельчук М. В. Анализ аварийных процессов при проливах и испарении широкой фракции легких углеводородов на газоперерабатывающих заводах // Научное обозрение. – 2014. – № 7. – С. 286-289.
7. Многоуровневая диагностика штатных и опасных состояний технических объектов [Электронное учебное пособие] / Пермяков В. Н., Махутов Н. А., Омельчук М. В. и др. Свидетельство о госуд. регистрации № 2014620296, правообладатель Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т; заявка 2013621807, заявл. 30.12.2013; зарегистр. 17.02.2014.

Сведения об авторе

Пермяков Владимир Николаевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)465427, e-mail: v.n.permyakov@mail.ru

Омельчук Михаил Владимирович, ассистент кафедры «Техносферная безопасность», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390342, e-mail: mishel-omel@yandex.ru

Information about the author

Permyakov V. N., Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Technosphere safety», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)465427, e-mail: v.n.permyakov@mail.ru

Omelchuk M. V., postgraduate of the chair «Technosphere safety», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)390342, e-mail: mishel-omel@yandex.ru