

УДК 614.842

Анализ барьеров безопасности в системе обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов

Analysis of safety barriers in the fire safety system of petroleum and petroleum products warehouses

*Г.С. Дупляков,
М.В. Елфимова,
канд. техн. наук, доцент,
А.Н. Батура,
канд. техн. наук
ФГБОУ ВО Сибирская
пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России*

*G.S. Duplyakov,
M.V. Elfimova,
Ph.D. of Engineering Sciences,
associate professor,
A.N. Baturu,
Ph.D. of Engineering Sciences
FSBEI HE Siberian Fire
and Rescue Academy
EMERCOM of Russia*

Аннотация:

В статье дана оценка значимости объектов складов нефти и нефтепродуктов (далее СНИН) в статистике по реализации пожаров и взрывов на нефтепромышленности РФ. Представлены:

- определение и перечень объектов, относящихся к СНИН;
- причины негативных тенденций, в результате которых возникают пожары и взрывы на СНИН;
- сценарий развития аварии, сопровождаемой возникновением пожара и взрыва на объектах СНИН;
- логика работы системы обеспечения пожарной безопасности (далее СОПБ) СНИН;
- результаты анализа работы барьеров безопасности СОПБ СНИН;
- результаты синтеза направления по принятию мер по снижению риска возникновения пожара и взрыва на объектах СНИН.

Ключевые слова: нефтепродукт, пожар, взрыв, авария, опасность, склад, барьер, СОПБ.

Abstract:

The article assesses the significance of petroleum and petroleum product warehouses facilities in the statistics of fire and explosion in the petroleum industry of the Russian Federation. Presented:

- definition and list of objects related to petroleum and petroleum product warehouses;
- causes of negative trends that result in fires and explosions to petroleum and petroleum product warehouses;
- scenario of an accident accompanied by a fire and explosion at facilities to petroleum and petroleum product warehouses;
- logic operation of fire safety system to petroleum and petroleum product warehouses;
- results of the analysis of the safety barriers of the fire safety system to petroleum and petroleum product warehouses;
- results of synthesis of directions for taking measures to reduce the risk of fire and explosion to petroleum and petroleum product warehouses.

Key word: oil product, fire, explosion, accident, danger, warehouse, barrier.

Большая часть пожаров и взрывов в нефтяной промышленности РФ реализуется за счет объектов складов нефти и нефтепродуктов (далее СНИН) [1]. СНИН – комплекс зданий, резервуаров и других сооружений, предназначенных для приема, хранения и выдачи нефти и нефтепродуктов [2]. К СНИН относятся:

- предприятия по обеспечению нефтепродуктами (нефтебазы);
- резервуарные парки и сливо-наливные сооружения магистральных нефтепроводов, нефтепродуктопроводов, пунктов сбора нефтяных месторождений, нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий;
- расходные склады нефтепродуктов промышленных предприятий.

СНИН состоят из трёх основных функциональных частей:

- сливоналивные эстакады (приём и отгрузка нефти и нефтепродукта);
- насосные станции (транспортировка нефтепродукта по трубопроводам на территории склада);
- резервуарные парки (хранение нефти и нефтепродукта).

Как показал анализ функционирования СНИН, высокая пожаровзрывоопасность данных объектов реализуется по двум основным причинам:

1. их функционирование, непосредственно связано с перемещением нефти и нефтепродуктов, что постоянно сопровождается риском возникновения проливов и образования топливно-воздушной смеси (далее ТВС) нефтепродукта, как вследствие нарушения технологического процесса, так и при его протекании в заданных параметрах [3]. В контексте данного исследования под ТВС понимается смесь паров нефтепродукта с воздухом, способная к воспламенению;
2. СОПБ СНИН имеет ряд существенных проблем – функционирует неэффективно [3,4].

Также в ходе проведения анализа было установлено, что в СОПБ СНИН функционируют 5 барьеров безопасности, задачей которых является снижение риска возникновения пожара и взрыва. Барьер безопасности – организационные и (или) технические меры, направленные на предотвращение, контроль и смягчение последствий развития аварии [5]. Далее, чтобы полностью установить причинно-следственные связи между негативными тенденциями по реализации пожаров, взрывов и работой СОПБ СНИН необходимо проанализировать работу данных барьеров безопасности.

Анализ работы барьеров безопасности СОПБ СНИН

Краткая характеристика объектов СНИН:

Резервуарные парки

Резервуары служат для хранения нефти и нефтепродуктов. Классифицируются по расположению относительно земли: горизонтальные и вертикальные объёмом 3 – 100000 м³[3]. По конструктиву крыши: стационарная (далее резервуар типа РВС), плавающая (далее резервуар типа РВСПК) или понтон (далее резервуар типа РВСП) [3]. Резервуары размещаются в группы по номинальному общему объёму всех резервуаров группы, по виду хранимого нефтепродукта [2]. Каждая группа резервуаров размещается в обваловании [2]. В ходе данного исследования не рассматривались горизонтальные и подземные резервуары, так как данные типы резервуаров ограничены по объёму до 100 м³ и широкое распространение на СНИН не получили [3].

Насосные станции

Представляют собой сооружение закрытого или открытого объема, внутри которого располагаются центробежные насосы с приводом от электродвигателя. К насосам подсоединены подводящие и отводящие трубопроводы для перемещения нефтепродукта по складу.

Сливоналивные эстакады

Технологические сооружения для слива и налива нефти и нефтепродукта в цистерны железнодорожного, автомобильного и водного транспорта. Классифицируются по принципу наполнения емкостей на закрытого (герметичного налива) и открытого типа налива [3].

Как отмечалось выше СОПБ СНИН располагает пятью барьерами безопасности.

- I барьер безопасности – мероприятия по герметизации технологического процесса (далее ТП).

Изначально инициирование аварии, сопровождаемой возникновением пожара и взрыва, происходит вследствие разгерметизации оборудования – технологического процесса, которая сопровождается следующими последствиями:

- поступление воздуха из окружающей среды в оборудование;
- истечение жидкой фазы нефтепродукта с образованием пролива из оборудования в окружающую среду;
- выход паров нефтепродукта из оборудования в окружающую среду;

- образование ТВС в окружающей среде (облако ТВС) и в объёме оборудования. В контексте данного исследования разгерметизация понимается, как газовый или жидкостный обмен между средами, разделённых оболочкой технологического оборудования.

Таким образом, первоначальными мероприятиями, стоящими на пути развития аварии, выступают мероприятия по герметизации ТП. Данные мероприятия направлены на то, чтобы:

- ограничить массы и (или) объём паров нефтепродукта поступающих в окружающую среду;
- поддерживать концентрации паров нефтепродукта в среде окислителя вне области воспламеняемости (менее значения НКПР, либо более значения ВКПР);
- II барьер безопасности – мероприятия, направленные на исключение возможности контакта источника с нефтепродуктом.

Минимально необходимым условием для возникновения на объектах СНИН пожара является контакт жидкой фазы, пролива нефтепродукта с источником зажигания. Для взрыва контакт ТВС с источником зажигания. Таким образом, чтобы предотвратить дальнейшее развитие аварии и возможность возникновения пожара, взрыва в СОПБ предусмотрены мероприятия по исключению возможности контакта источника зажигания с нефтепродуктом.

- III барьер безопасности – мероприятия, направленные на обнаружение последствий разгерметизации, остановку ТП и включение сигнализации, ликвидации разгерметизации и её последствий.

Далее по ходу развития аварии в работу включается третий барьер безопасности, задачами которого являются:

1. обнаружение разгерметизации и её последствий;
2. остановка ТП, чтобы не допустить увеличения масштабов аварии;
3. включение сигнализацию, для оповещения персонала об аварии;
4. ликвидация разгерметизации и её последствий.

Обнаружить последствия разгерметизации можно по косвенным признакам:

- изменение параметров работы технологического оборудования: снижение давления, уменьшение объёма перекачиваемого нефтепродукта, снижение уровня нефтепродукта в ёмкостном оборудовании.

А также по прямым признакам:

- сработка датчиков контроля дозрывных концентраций (далее ДКДК) при превышении предельно допустимой концентрации (далее ПДК) паров нефтепродукта в воздухе на территории, защищаемой этими датчиками;
- обнаружение обслуживающим персоналом органолептическим способом, при личном присутствии в месте, где имеют место быть признаки разгерметизации, либо посредством установленной на объекте системы видеонаблюдения.

Мероприятия, предусмотренные по ликвидации разгерметизации и её последствий, в рамках III-го барьера безопасности сводятся к тому, чтобы:

- обратно герметизировать ТП;
- деактивировать с помощью персонала пролив нефтепродукта (покрытие пеной, адсорбентами, смыв водой);
- IV барьер безопасности – ликвидация пожара с помощью АУПТ.

Далее, несмотря на все предусмотренные мероприятия в СОПБ СНИН по исключению возможности контакта источника зажигания с нефтепродуктом, он всё же случается по ряду причин [1], вследствие чего возникает пожар, взрыв. На данный случай для ликвидации пожара в СОПБ СНИН предусматриваются стационарные автоматические установки пожаротушения.

- V барьер безопасности – ликвидация пожара с помощью мобильных средств.

Как показывает анализ регламентирующих документов, АУПТ предусматриваются не на все категории объектов СНИН, взамен них, как правило, объекты СНИН оснащаются стационарными неавтоматическими установками пожаротушения, приводимыми в действие от мобильных средств. Под мобильными средствами понимаются силы пожарной охраны на передвижной пожарной технике. А если АУПТ и стационарные неавтоматические установки оказались выведенными из строя опасными факторами пожара, взрыва, либо тушение пожара данными установками оказывается малоэффективным, то тушение производят с помощью передвижных приборов подачи ОТВ от мобильных средств.

В контексте данного исследования не рассматривался комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, так как данный комплекс подразумевает под собой

функционально-организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности: организация объектовой пожарной охраны, обучение рабочих, служащих и администрации, составление инструкций в области пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации и т.д. Также в контексте данного исследования не рассматривалось в качестве барьера безопасности обвалование резервуарной группы.

В ходе проведенного анализа функционирования барьеров безопасности был обнаружен ряд нюансов и проблем.

I барьер безопасности – мероприятия по герметизации ТП:

1. Пожаровзрывоопасные выбросы паров нефтепродукта на резервуарах типа РВС. Причины, по которым при эксплуатации резервуаров типа РВС может образовываться облако ТВС:
 - пары нефтепродукта способны выходить через неплотности фланцев замерных смотровых люков, пенных камер стационарной системы пожаротушения, данная проблема также характерна для резервуаров типа РВСП;
 - также пары нефтепродукта способны выходить вследствие залипания в открытом положении дыхательных клапанов резервуара (примерзание, коррозионные отложения, заклинивание);
 - в условиях штита при нормальном протекании технологического процесса на резервуарах типа РВС по хранению бензина существует реальная опасность образования зон взрывоопасных концентраций в каре резервуаров ограниченного земляным обвалованием в результате больших дыханий [6].
2. Сомнительная оправданность внедрения газоравнительных систем (далее ГУС) на резервуарах типа РВС с точки зрения пожарной безопасности. ГУС объединяет газовые пространства резервуаров в пределах одной группы, посредством трубопроводов, по которым при синхронной работе резервуаров паровоздушная смесь не выбрасывается в окружающую среду, а перетекает из наполняемых резервуаров в опорожняемые, либо конденсируется в сборнике. А конденсируемый нефтепродукт возвращается обратно в производство, либо утилизируется (см. рис).

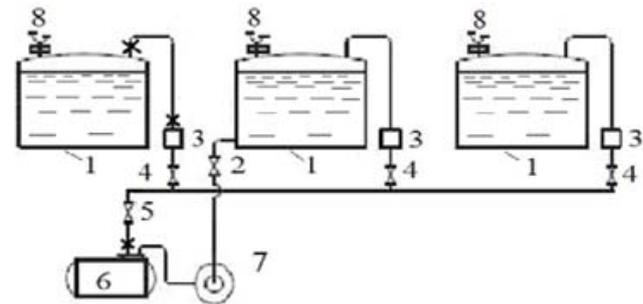


Рис. - Строение ГУС резервуаров по хранению нефтепродукта: 1 – резервуар; 2 – запорная задвижка подачи конденсата в резервуар; 3 – огнепреградитель; 4 – запорная задвижка; 5 – задвижка спуска конденсата; 6 – сборник конденсата; 7 – насос; 8 – дыхательный клапан

Данное решение обеспечивает сокращение потерь нефтепродукта и призвано предупреждать образование взрывоопасных зон на территории резервуарных парков, вследствие больших и малых дыханий резервуаров. Но, как показывает практический опыт (пожар на линейно-производственной диспетчерской станции Конда 22.08.2009) и выводы исследования [7], ГУС делает уязвимой всю группу резервуаров, в случае возникновения пожара на одном из них: применяемые для предупреждения распространения пожара по ГУС огнепреградители кассетного типа не являются эффективными в связи с развитием детонационного горения в трубопроводах. И еще один факт, отмеченный в исследовании [8], который ставит под сомнение целесообразность применения ГУС на резервуарах: в районе 32,8 % от объема «большого дыхания» резервуаров выбрасывается в окружающую среду через неплотности фланцев замерных смотровых люков.

3. Пожарная опасность функционирования резервуаров типа РВСП и РВСПК. Резервуары этих типов применяются для сокращения потерь от испарения нефтепродукта в результате большого и малого дыхания резервуара. Но, несмотря на уменьшение выбросов паров нефтепродуктов и ряд других заявленных преимуществ резервуаров данных типов, в сравнении с резервуарами типа РВС, оправданность их использования ввиду ряда негативных факторов ставится под сомнение:

- при полном опустошении резервуара типов РВСП и РВСПК понтон (плавающая крыша) размещается на стойки и образуется воздушное пространство под понтоном (плавающей крышей), вследствие чего, при заполнении резервуара образуются пожаровзрывоопасные концентрации паров нефтепродукта с воздухом в объеме резервуара, которые под давлением наполняемого нефтепродукта способны выходить в окружающую среду;

- на резервуарах типа РВСПК возможно испарение нефтепродукта через неплотности затвора между стенкой резервуара и плавающей крышей, что делает возможным образование пожаровзрывоопасных концентраций нефтепродукта с воздухом над плоскостью плавающей крыши, даже при нормальной работе резервуара [9];
- на резервуарах типа РВСПК возможно примерзание одной из сторон плавающей крыши;
- к стенке резервуара, что при дальнейшей откачке нефтепродукта ведёт к её перекосу, подклиниванию, сопровождаемое искрообразованием, которое в свою очередь способно вызвать воспламенение паров нефтепродукта. Данный прецедент имел место быть в резервуарном парке Московского НПЗ 8 апреля 1985 г. [9];
- в резервуарах типа РВСП во внутреннем объёме над понтоном концентрация паров нефтепродукта лежит в области воспламенения (между НКПР и ВКПР), чего лишен резервуар типа РВС, так как там во внутреннем объёме резервуара образуются концентрации лежащие выше ВКПР [9].

II барьер безопасности – мероприятия, направленные на исключение возможности контакта источника с нефтепродуктом: как показал анализ статистики пожаров на объектах нефтепромышленности [1], несмотря на все предусмотренные меры, контакт нефтепродукта с источником зажигания имеет место быть по ряду причин.

III барьер безопасности – мероприятия, направленные на обнаружение последствий разгерметизации, остановку ТП и включение сигнализации, ликвидации разгерметизации и её последствий:

1. Невозможность обнаружения ДКДК облака ТВС в каре резервуарной группы. ДКДК размещаются по периметру обвалования с внутренней стороны на высоте 1,0 - 1,5 м от планировочной отметки поверхности земли [10]. По факту на практике, точечные ДКДК устанавливаются на самом обваловании, что не перечит требованиям регламентирующего документа [10]. В свою очередь обвалование находится на расстоянии не менее 3, 6 метров от стенки ближнего резервуара, а резервуары в пределах группы могут располагаться в несколько рядов [2]. Таким образом, облако ТВС может быть обнаружено ДКДК, только лишь в том случае, если оно пересечет линию обвалования резервуарной группы.

2. Отсутствуют мероприятия по ограничению распространения облака ТВС по территории объекта. Также при выходе облака ТВС за пределы зоны защищаемой ДКДК, не представляется возможным его дальнейший контроль. Аналогичная ситуация, свидетельствующая о данной проблеме, произошла 17 августа 1975 г. на НПЗ «Gulf Oil Refinery» в г. Филадельфия. Ночью происходила перекачка нефти из танкера в РВС. Нефтяные пары, вышедшие из резервуара, скопились у расположенной рядом котельной и воспламенились. Пламя по облаку паров нефтепродукта распространилось на дыхательную арматуру резервуара. Ликвидация пожара продолжалась в течении 9 дней, в ходе которого погибли 8 пожарных и 14 получили травмы.
3. Отсутствуют мероприятия по контролю концентрации паров нефтепродукта во внутреннем пространстве оборудования во время его работы. Вследствие чего мы имеем пожары и взрывы, происходящие при обслуживании, заборе проб нефтепродукта, подготовке к ремонту ёмкостного оборудования.
4. Отсутствуют автоматизированные оперативные мероприятия по принудительной ликвидации образовавшегося облака ТВС и пролива нефтепродукта.

IV барьер безопасности – ликвидация пожара с помощью АУПТ:

1. Использование разных огнетушащих веществ для тушения пожара и охлаждения оборудования, подверженного тепловым нагрузкам в результате пожара [4].
2. Подверженность стационарных приборов подачи огнетушащего вещества и пожарных извещателей воздействию опасных факторов пожара, взрыва, вследствие чего последние оказываются поврежденными, либо вообще выведенными из строя [4].
3. Невозможность осуществления объёмного тушения стационарными установками пожаротушения в насосных станциях закрытого объёма (расположенных в здании), вследствие нарушения его герметичности в результате взрыва.
4. АУПТ монтируются в обязательном порядке не на все объекты СНИН, согласно регламентирующим документам [2,10].

Таким образом, лишь 19 % пожаров от общего количества на объектах нефтяной промышленности было ликвидировано стационарными установками

пожаротушения [4]. Остальная же часть пожаров ликвидировалась передвижными приборами подачи ОТВ от мобильных средств.

В барьер безопасности – ликвидация пожара с помощью мобильных средств:

1. Сил и средств (далее СиС) подразделений объектовой пожарной охраны в большинстве случаев недостаточно для локализации пожара, вследствие чего для ликвидации пожара привлекаются территориальные подразделения пожарной охраны.
2. Привлекаемые для тушения пожара территориальные подразделения пожарной охраны располагаются на значительном удалении от СНИН.
3. СиС смены дежурного караула ближайшего территориального подразделения, как правило, недостаточно для локализации пожара, вследствие чего приходится привлекать ещё более удаленные подразделения и дополнительные силы, в виде свободного от дежурства личного состава и резервной техники данных подразделений.

Таким образом, обычно проходит 1–2 ч, прежде чем удастся сосредоточить достаточное количество СиС для ликвидации пожара, а в 25% случаев достаточное количество СиС удается собрать только через 12 ч. [11].

Также, что необходимо отметить по результатам анализа барьеров безопасности СОПБ складов нефти и нефтепродуктов, отсутствуют мероприятия препятствующие развитию химического взрыва и мероприятия по смягчению и уменьшению последствий, в результате его реализации.

Выводы

Наиболее рациональными и эффективными мерами по снижению риска возникновения пожара и взрыва на объектах СНИН, будет внедрение в СОПБ данных объектов мероприятий по:

- контролю за параметрами паровоздушной смеси нефтепродукта внутри ёмкостного оборудования;
- автоматизированной деактивации образовавшегося облака ТВС и пролива нефтепродукта в окружающей среде;
- ограничению распространения облака ТВС по территории объекта.

Данный вывод можно заключить по ряду причин установленных данным исследованием, так и по выводам сторонних исследований:

- Наиболее опасным техногенным явлением с точки зрения последствий является химический взрыв, так как его возникновение сопровождается образованием разрушительных волн сжатия, разлётом осколков конструкций и образованием тепловых нагрузок, что приводит к инициированию других опасных техногенных явлений, как пожар, выброс опасных веществ в окружающую среду. Минимальными условиями для инициирования взрыва является образование ТВС и её контакт с источником зажигания. В СОПБ СНИН присутствует ряд мероприятий ограничивающих возникновение источника зажигания в зоне возможного образования ТВС, но отсутствует достаточный объём мероприятий, направленный на воспрепятствование образованию и контроль ТВС.
 - Наибольшую пожарную и экологическую опасность в резервуарных парках при хранении бензина представляют большие дыхания резервуаров типа РВС. Установлено, что радиус зоны взрывоопасной концентрации для резервуаров больших объёмов могут достигать до 183 м. Поэтому вопросы снижения пожарной и экологической опасностей вблизи предприятий, на которых используются РВС, являются актуальными [12].
 - Одной из опасных ситуаций в резервуарном парке хранения нефти и нефтепродуктов является загазованность территории с возможностью образования зон горючих концентраций [9].
 - Основными факторами риска аварий горизонтальных резервуаров являются выбросы паров нефтепродуктов на эстакадах налива, превышение норм испарений при «дыхании» резервуара, негерметичность клапанов [8].
 - Фактические испарения при «дыхании» резервуаров выше установленных норм [8].
- Прерогативы предлагаемых мер:
- возможность прямого снижения риска возникновения пожара, взрыва при развитии аварии;
 - возможность реализации предлагаемых мер на базе уже существующего III-го барьера СОПБ СНИН.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке мероприятий по повышению качества обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтяной промышленности.

Направлением для дальнейшего исследования в данной области будет разработка принципов и подбор технических решений для реализации перечисленных выше мер по повышению качества пожаровзрывобезопасности объектов СНИН.

Литература

1. Дупляков Г.С. Анализ и обобщение статистических данных по опасным техногенным явлениям на объектах нефтяной промышленности РФ / Дупляков Г.С., Горбунов А.С., Елфимова М.В. и др. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2019, №3. -С.7-12.
2. СП 155.13130.2014 Свод правил склады нефти и нефтепродуктов требования пожарной безопасности (утвержденные приказом МЧС России от 26.12.2013 № 837).
3. Дупляков Г.С. Пожарная безопасность складов нефти и нефтепродуктов / Дупляков Г.С., Горбунов А.С., Елфимова и др. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2019, №4.
4. Дупляков Г.С. Проблемы обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов / Дупляков Г.С., Елфимова М.В. // Научный электронный журнал «Техносферная безопасность», 2019, №3(24).-С.50-62.
5. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 N 144 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах".
6. Воробьев В.В. Оценка опасности образования зон взрывоопасных концентраций в резервуарных парках для хранения бензина/ Воробьев В.В., Юрьев В.И., Петров, А.П. и др.// Технологии техносферной безопасности. 2017. №3 (73). С. 72-77.
7. Петров А.П. Пожарная опасность газоуравнительных систем резервуаров с сернистой нефтью/ Петров А.П., Швырков С.А., Горячев С.А. и др.// Технологии техносферной безопасности. 2012. №6 (46). С. 1-5.
8. Кузнецова С.А. Пожаробезопасность при эксплуатации резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов/ Кузнецова С.А. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа , 2005.
9. Юрьев В.И. Проблемы пожарной безопасности хранения нефти и нефтепродуктов в вертикальных стальных резервуарах типа РВС/ Юрьев В.И., Петров А.П., Швырков С.А., Юрьев Я.И. // Технологии техносферной безопасности. 2016. №2 (66). С. 1-6.
10. Приказ Ростехнадзора от 26.12.2012 № 777 «Об утверждении Руководства по безопасности для нефтебаз и складов нефтепродуктов».
11. Корольченко Д. А. Противопожарная защита резервуаров с нефтью и помещений насосных пеной различной кратности/ Д. А. Корольченко, С. С. Воевода// Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 78-81.
12. Юрьев В.И. Оценка пожарной опасности "дыханий" резервуаров вертикальных стальных с бензином/ Юрьев В.И. // Технологии техносферной безопасности. 2016. №3 (67). С. 128-133.