

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

## ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ОТ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ В ПЕРИОД ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

**М.В. Алешков, кандидат технических наук, доцент.  
Академия ГПС МЧС России**

Проанализирована энергетическая стратегия России, согласно которой к 2030 г. 50 % атомных электростанций России будут размещаться в холодных климатических районах. Рассмотрены особенности функционирования пожарных подразделений в условиях низких температур. Приведен метод определения работоспособности насосно-рукавных систем пожарных автомобилей при этих условиях. Данный метод позволяет через прогнозирование ситуации осуществить мероприятия по повышению защищенности объектов.

*Ключевые слова:* атомные электростанции, приспособленность к низким температурам, рукавные линии, защищенность объектов

## INCREASING PROTECTION OF POWER OBJECTS FROM MAJOR FIRES UNDER EXTREME METEOROLOGICAL CONDITIONS

M.V. Aleshkov. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

The article analyses energy strategy of Russia according to which by 2030 50 per cent of atomic power stations in Russia will be located in cold climate zones. Peculiarities of fire units operation in low temperatures are considered. Method for defining working capabilities of pump and hose systems of fire appliances at such conditions is given in the article. The method described makes it possible to implement object protection increase by means of situation forecast.

*Key words:* atomic power stations, suitability to low temperatures, hose lines, protection of objects

Руководствуясь энергетической политикой России, Правительство Российской Федерации 13 ноября 2009 г. подготовило распоряжение № 1717-р «Об утверждении энергетической стратегии России на период до 2030 года».

Согласно этой стратегии, начиная с 2015 г., предполагается этап перехода к инновационному развитию и формированию инфраструктуры новой экономики. Для этого потребуются общее повышение энергоэффективности в отраслях топливно-энергетического комплекса и экономики в целом, а также реализации инновационных и новых капиталоемких энергетических проектов в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, на континентальном шельфе арктических морей и полуострове Ямал [1].

Для достижения стратегической цели энергетической программы в этих регионах планируется строительство крупных гидроэлектростанций, объектов атомной энергетики.

На сегодняшний день в России функционируют 10 атомных электростанций (АЭС), которые имеют 32 энергоблока общей мощностью 24242 МВт, это около 17 % производимой в стране электроэнергии.

Согласно планам развития российской атомной энергетики её доля в общем производстве электроэнергии в стране должна вырасти до 25–30 % к 2030 г. Для этого планируется осуществить строительство и ввод в эксплуатацию новых энергоблоков и даже новых атомных электростанций, а также повысить эффективность использования существующих АЭС. Уже в ближайшее десятилетие ожидается запуск Ленинградской АЭС-2, Балтийской АЭС, Нововоронежской АЭС-2, новых энергоблоков на Ростовской и Белоярской АЭС. До 2020 г. могут быть введены в эксплуатацию: Калининградская, Южно-Уральская, Северская (Томская обл.), Дальневосточная и Приморская АЭС.

Как видим, энергетика, активно продвигается в районы Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, в том числе и атомная энергетика. Уже на сегодняшний день 30 % от имеющихся в России АЭС, расположены и функционируют в холодных климатических районах страны.

Это Билибинская АЭС, находящаяся в Чукотском автономном округе, на территории очень холодного климатического района; Кольская АЭС – в Мурманской области, на территории холодного климатического района; Белоярская АЭС – в Свердловской области на территории умеренно холодного района. С учетом планируемого строительства АЭС, к 2020 г. в России до 50 % атомных электростанций может оказаться в холодных климатических районах.

Как известно, северная климатическая зона России отличается суровостью климата. В соответствии с ГОСТ 16350-80 [2] к этой зоне относится более 80 % территории страны. Климатические особенности районов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока изменяются в широких пределах. Так, в арктической области средняя температура воздуха в январе-марте на побережье  $-30^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум достигает  $-53^{\circ}\text{C}$ , а в глубинных материковых районах Севера, например в Оймяконе, температура опускается до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Независимо от климатических особенностей районов, перед подразделениями МЧС России стоит задача обеспечить защищенность всех объектов, расположенных на территории субъектов Российской Федерации [3]. При этом надо учитывать, что влияние климата определяет различные условия для деятельности пожарных подразделений. Особенно ярко это проявляется в зимний период года, когда эффективность деятельности пожарных подразделений зависит не только от уровня подготовки личного состава и оснащенности техникой, но и от степени влияния климатических факторов [4].

В холодных климатических районах в зимний период года складывается особенно сложная оперативная обстановка с тушением пожаров. Низкие температуры воздуха способствуют не только увеличению количества пожаров, но и осложняют сам процесс тушения пожаров. Это значительно увеличивает риски развития ЧС и пожаров до крупных размеров, и может быть сопряжено с большими сложностями по их ликвидации в условиях низких температур. Актуальна эта проблема и для объектов атомной энергетики.

О пожаре на Чернобыльской атомной электростанции и его последствиях известно всему миру, но до настоящего времени мало кто информирован о другом чрезвычайном происшествии – пожаре на не менее значимом атомном объекте Советского Союза – Белоярской АЭС имени В.И. Курчатова.

В ночь с 30 на 31 декабря (около 2 часов) 1978 г. произошло возгорание на Белоярской АЭС. В числе наиболее вероятных причин ее возникновения назывались разгерметизация одного из соединений маслопровода высокого давления турбины, в результате чего вследствие попадания на паропроводы масла произошло его воспламенение. Пожар возник в машинном зале, где размещались три турбогенератора мощностью по 100 тыс. кВт каждый.

Эффективному использованию сил и средств мешала экстремально низкая температура окружающего воздуха, она опускалась до  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Сложная оперативная обстановка на пожаре потребовала привлечения дополнительных сил и средств из близлежащих городов.

Ликвидация аварии производилась в течение 10 часов. В тушении пожара участвовало 270 пожарных. Возникали серьезные проблемы с подачей огнетушащих веществ на тушение из-за воздействия низких температур окружающей среды, следствием которого был выход из строя пожарных автомобилей и насосно-рукавных систем.

При длительной подаче воды по рукавным линиям, в условиях низких температур, происходит замерзание воды внутри рукавов. Скорость формирования льда зависит от диаметра рукавов, скорости движения воды, ее температуры, а также температуры окружающей среды. Возникает ситуация, когда становится невозможным подавать воду на тушение пожара. Пожар развивается и приобретает крупные размеры. При этом основные пожарные автомобили не могут осуществить выполнение своей функции по обеспечению подачи воды на тушение пожара.

Учитывая опыт тушения этого сложного пожара, были проанализированы все крупные пожары, произошедшие за последние 25 лет на территории России в зимний период года. В качестве основных критериев оценки рассматривались: количество пожаров, время следования подразделения на тушение, климатические условия тушения пожара и отказы пожарной техники по причине влияния низких температур. Исследуя описания крупных пожаров, удалось сформировать массив данных об отказах и неисправностях, произошедших с основной пожарной техникой по причине влияния низких температур [5].

Установлено, что 38 % всех отказов пожарной техники по причине влияния низких температур приходится на напорные рукавные линии. Поэтому для оценки эффективности применения сил и средств для тушения пожаров при экстремальных метеорологических условиях была предложена методика оценки работоспособности насосно-рукавных систем в условиях низких температур, которая позволит прогнозировать как работоспособность отдельно взятой насосно-рукавной системы, так и эффективность действий подразделений по тушению пожаров в целом.

Для изучения особенностей течения воды в рукавных линиях под воздействием низких температур рассмотрим схему боевого развертывания, представленную на рис. 1.

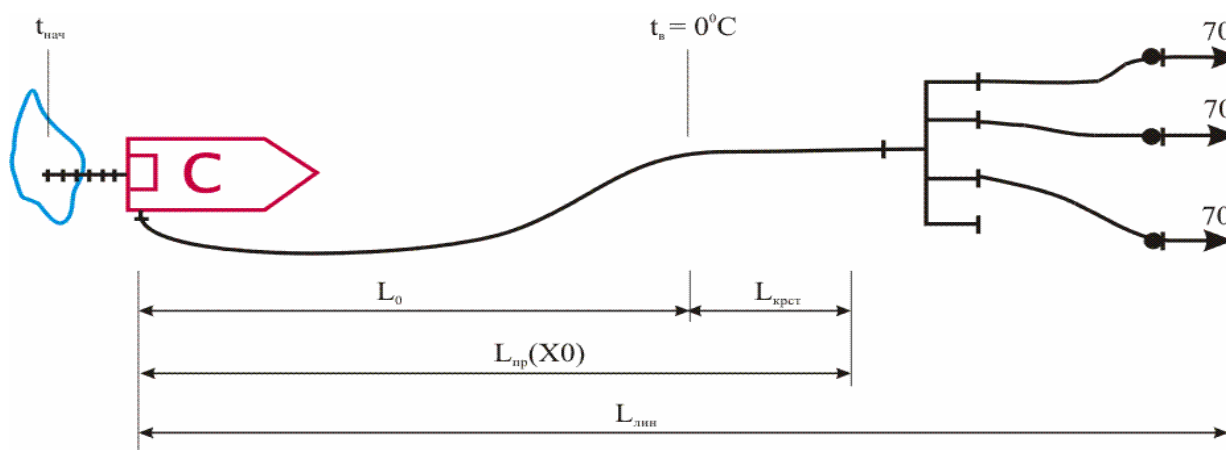


Рис. 1. Схема боевого развертывания

Непосредственно в рукавной линии можно выделить несколько участков.

Первый участок представляет собой часть рукавной линии, на котором вода охлаждается до  $0^{\circ}\text{C}$  ( $L_0$ ).

Второй участок ( $L_{крст}$ ) характеризуется тем, что хотя вода и охлаждена до  $0^{\circ}\text{C}$ , но лед на внутренней поверхности и арматуре еще не образуется.

В сумме первый и второй участки формируют предельную длину магистральной линии до начала обледенения —  $L_{пр}(X0)$ . Этот параметр выступает в качестве критерия для

оценки работоспособности насосно-рукавной системы в условиях низких температур. Если выполняется условие:

$$L_{\text{лин}} < L_{\text{пр}},$$

то по длине рукавной линии не создаются условия для формирования льда на внутренней поверхности рукавов и рукавной арматуры. Таким образом, рукавная линия по фактору обледенения может функционировать неограниченный период времени.

Необходимо помнить, что скорость формирования льда зависит от диаметра рукавов, скорости движения воды, ее температуры, а также от температуры окружающей среды, скорости ветра.

При течении воды в рукавной линии длиной  $L$  и температуре окружающего воздуха  $t_B$ , тепловой поток  $q_C$  от жидкости можно записать:

$$q_C = C_{p_{ж}} \cdot \rho_{ж} \cdot \omega_{ж}^{cp} \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot (t'_{ж} - t''_{ж}),$$

где  $C_{p_{ж}}$  – теплоемкость жидкости, Дж/(кг·град);  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega_{ж}^{cp}$  – средняя скорость потока, м/с;  $d_1$  – внутренний диаметр рукава, м;  $t'_{ж}; t''_{ж}$  – средние по сечению рукава температуры жидкости на входе и выходе исследуемого участка, °С.

Если использовать коэффициент теплопередачи от воды через стенки рукава к воздуху, то тепловой поток будет определяться изменением среднemasсовой температуры жидкости, а также разностью среднemasсовой температуры жидкости и температурой воздуха, и выражаться в следующей зависимости:

$$q_C = K \cdot \pi \cdot d_1 \cdot L \cdot \left( \frac{t'_{ж} + t''_{ж}}{2} - t_B \right),$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup> град);  $t_B$  – температура воздуха, °С

Известно, что значение  $K$  может быть определено:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1; \alpha_2$  – соответственно, коэффициент теплоотдачи от воды к поверхности рукава; от поверхности рукава к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя стенки рукава, м;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала  $i$ -го слоя, Вт/(м·град);

Проведя ряд математических преобразований, определили, что снижение температуры воды по длине рукавной линии рассчитывается при помощи следующей зависимости:

$$\Delta t = \frac{t'_{ж} - t_B}{0,5 + \gamma}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – составляющая, учитывающая физические параметры огнетушащего вещества, окружающей среды и материала рукавов.

Для расчета интенсивности снижения температуры воды, целесообразно за масштаб линии принять длину  $L=100$  м.

Таким образом, выражение (1) позволяет определить снижение температуры воды по длине рукавной линии. Для решения этой задачи в Академии ГПС МЧС России была разработана Учебно-имитационная программа по оценке работоспособности пожарной техники в условиях низких температур. В программе решается задача нахождения предельной длины магистральной линии до начала обледенения  $L_{пр}$  и длина магистральной линии, где вода охлаждается до  $0^0$  С ( $L_0$ ), в зависимости от типа рукавов и их диаметра, расхода, напора на насосе, температуры воды в водоисточнике, скорости ветра.

С использованием Учебно-имитационной программы по оценке работоспособности пожарной техники в условиях низких температур были определены предельные длины магистральных линий до начала обледенения  $L_{пр}$  и длины магистральных линий, где вода охлаждается до  $0^0$  С ( $L_0$ ), при следующих условиях: диаметр рукавов – 150 мм; тип рукавов – РПМ с внутренним гидроизоляционным покрытием из резины (коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,30063$  Вт/м $^0$ С); температура воды в водоеме –  $0,5^0$  С; расход огнетушащих веществ от 20 до 110 л/с; температура воздуха от  $-20$  до  $-60^0$  С; скорость ветра от 0,5 до 20 м/с.

Для каждого расхода была определена предельная длина магистральной линии

$$Np_{\max} = \frac{H_n - H_p}{S_p \cdot Q^2},$$

где  $H_n$  – напор на насосе, м;  $H_p$  – напор на разветвлении, в расчетах принимался равным 40 м;  $S_p$  – сопротивление рукава ( $Dy=150$  мм,  $S_p=0,00046$  (с/л) $^2$  \* 20 м);  $Q$  – расход, л/с. Для каждого сочетания « $Q - t_B$ » строились графики зависимостей предельной длины магистральной линии по обледенению и длины магистральной линии, где вода охлаждается до  $0^0$  С, а также от скорости ветра.

Проанализировав полученные данные, можно отметить, что существует три варианта работы магистральных линий:

Первый вариант, когда  $L_{пр} < Np_{\max}$  при любых скоростях ветра, то есть при длительной работе, на внутренней поверхности магистральной линии и рукавной арматуры будет образовываться лед, что с течением времени приведет к обледенению линии и в дальнейшем к выходу ее из строя (рис. 2).

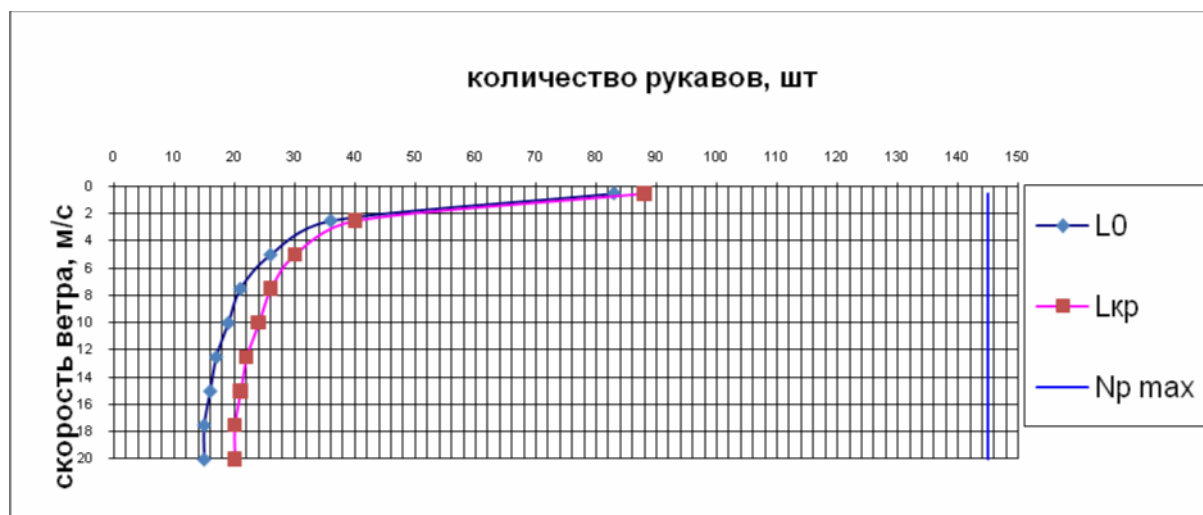


Рис. 2. Замерзание магистральной линии

Второй вариант, когда магистральная линия может функционировать неограниченный период времени до какой-то критической скорости ветра ( $W_{вкр}$ ), то есть если  $W_{в} < W_{вкр}$ , но если  $W_{в} > W_{вкр}$ , то магистральная линия при длительной работе с течением времени подвергнется обледенению (рис. 3).

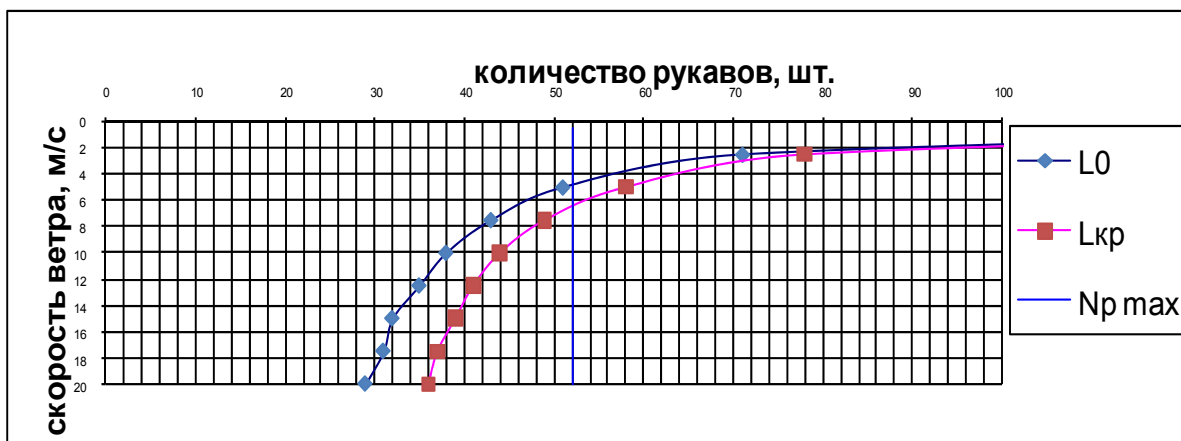


Рис. 3. Замерзание магистральной линии при скорости ветра более критической

Третий вариант, когда  $L_{пр} > N_{рmax}$  при любых скоростях ветра, то есть по длине рукавной линии не создаются условия для формирования льда на внутренней поверхности рукавов и рукавной арматуры, магистральная линия может функционировать неограниченный период времени (рис. 4).

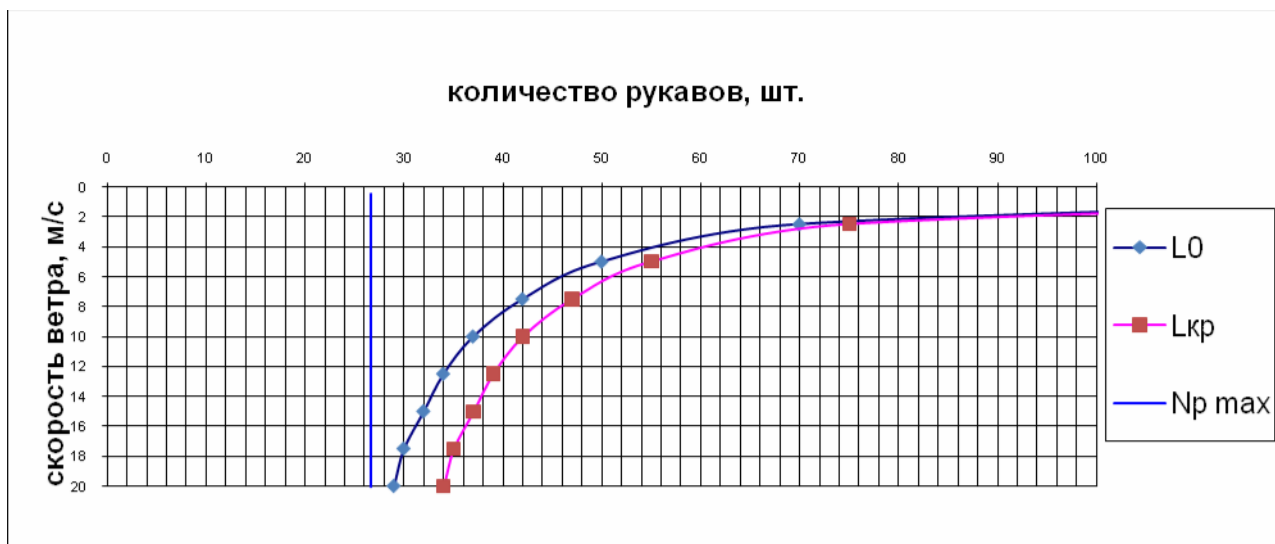


Рис. 4. Магистральная линия не замерзает

Данная программа позволяет найти для каждой температуры соответствующие расходы, при которых магистральные линии работоспособны до следующих скоростей ветра: 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 м/с. По полученным результатам строим диаграмму работоспособности магистральных линий в условиях низких температур (рис. 5).

На данной диаграмме также выделяется три области условий, в которых могут работать магистральные линии:

- 1 область – от 0 до линии «всегда» – проблемы с замерзанием линии будут иметь место при любой скорости ветра;
- 2 область – от линии «всегда» до линии «никогда» – проблемы с замерзанием линии будут при скорости ветра больше критической ( $W_{в\ кр}$ );
- 3 область – за линией «никогда» – проблем с замерзанием линии не будет.

Используя область 2 данной диаграммы, можно определить условия (сочетание расхода, температуры и скорости ветра), при которых магистральная линия будет сохранять свою работоспособность по фактору обледенения и своевременно принимать меры для предотвращения ее замерзания.

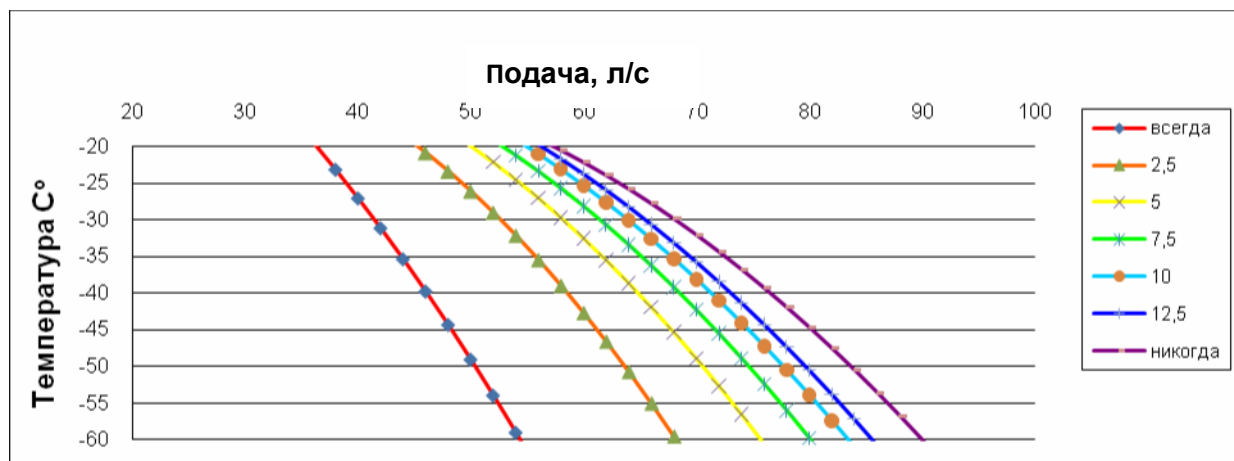


Рис. 5. Диаграмма условий работоспособности магистральных линий Ду150 мм

Исследование работоспособности магистральных линий в условиях низких температур показало, что проблемы, связанные с отказом в работе магистральных линий по причине их замерзания, зависят не только от погодных условий, но и от параметров линии. Увеличение диаметра, уменьшение расхода, увеличение длины повышает вероятность замерзания рукавной линии. Увеличение же расходов до величин близких к предельным, для данных рукавных линий, уменьшение их длины понижает вероятность замерзания линий, вплоть до того, что рукавные линии могут функционировать в течение сколь угодно долгого времени, несмотря на очень тяжелые погодные условия.

Предлагаемый метод, основанный на оценке работоспособности насосно-рукавной системы пожарного автомобиля, может быть применен для прогнозирования эффективности применения сил и средств, для тушения пожаров объектов атомной энергетики при экстремально низких температурах окружающей среды. С целью повышения защищенности этих объектов, возможно еще заранее, до возникновения пожара, оценить насколько эффективны будут действия подразделений МЧС России применительно к конкретно рассматриваемому объекту. При необходимости дополнительных сил и средств запланировать их прибытие с ближайших территорий или принять решение по оснащению подразделений специальной техникой, обеспечивающей работоспособность насосно-рукавных систем в условиях низких температур.

### Литература

1. Об утверждении энергетической стратегии России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Рос. Федерации № 1717 от 13 нояб. 2009 г.
2. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М.: Изд-во стандартов, 1981.
3. Методические рекомендации по разработке планов повышения защищенности критически важных объектов, территории субъектов Российской Федерации и муниципальных образований. М.: МЧС России, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФУ), 2011. 37 с.

4. Алешков М.В. Анализ тушения крупных пожаров применительно к различным климатическим районам России. Крупные пожары: предупреждение и тушение: науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО, 2001. 585 с.

5. Алешков М.В., Волков В.Л. Особенности влияния низких температур на работоспособность пожарной техники. Крупные пожары: предупреждение и тушение: науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО, 2001. 585 с.