

# **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Евстигнеев И.Н., Колосов А.И. (научный руководитель)

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*Воронеж, Россия*

# **PREDICTION TO THE EXTENT DESTRUCTION BY FAILURES OF SYSTEMS OF THE HEAT AND GAS SUPPLY AND MODELLING PROCESSES OF THE RESTORATION**

Evstigneev I.N., Kolosov A.I. (the scientific supervisor)

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*Voronezh, Russia*

Проектирование, строительство и эксплуатация систем теплогазоснабжения включают в себя достаточно большой круг проблем, среди которых отдельного внимания заслуживает послеаварийное восстановление систем теплогазоснабжения [1-9].

Главная особенность аварий на трубопроводах теплоснабжения и газоснабжения - масштаб последствий, затрагивающих население, окружающую природную среду и экономические структуры.

Независимо от причины возникновения аварии обеспечение качественного теплогазоснабжения, в первую очередь, должно быть направлено на снижение периода времени послеаварийного восстановления. Любая система инженерного обеспечения состоит из большого числа отдельных блоков, агрегатов, узлов и элементов. Под воздействием внешних (механических воздействий и т.п.) и внутренних (давления транспортируемого продукта и т.п.) факторов могут возникнуть отказы любого из элементов, что, в свою очередь, приведет к возникновению аварии и остановке подачи продукта (теплоносителя или газообразного топлива) потребителям.

В настоящее время прогнозирование аварий систем теплогазоснабжения производится исходя из вероятности безотказной работы всех элементов систем. Вместе с тем есть примеры более точного прогнозирования путем моделирования напряженно-деформированного состояния элементов систем с учетом изменения их прочностных характеристик в процессе эксплуатации. Такое прогнозирование степени разрушения систем теплогазоснабжения при различных видах и интенсивности внешних воздействий позволит предварительно (до возникновения аварии) проработать различные варианты послеаварийного восстановления и выбрать из них наиболее целесообразный, а также, например, обосновать состав парка необходимых машин и механизмов. Это повысит эффективность работы аварийно-восстановительных служб и позволит восстановить системы теплогазоснабжения при различных интенсивностях внешних воздействий в максимально короткие сроки.

Возможны три варианта сценария деятельности аварийно-восстановительных служб:

1. Без осуществления превентивных по предотвращению аварий.

Здесь внешнее механическое воздействие приводит к возникновению аварии, на ликвидацию которой и приведение систем теплогазоснабжения к нормальному режиму работы требуется магистрально-технические, трудовые и временные затраты.

2. С осуществлением превентивных мероприятий по полному предотвращению аварий.

Этому варианту соответствуют материально-технические, трудовые и временные затраты.

3. С осуществлением превентивных мероприятий по снижению масштабов разрушений.

Данному варианту соответствуют материально-технические, трудовые и временные затраты.

Общие материально-технические, трудовые и временные затраты, требующиеся во 2 и 3 случаях, должны быть меньше аналогичных затрат 1 случая, иначе проведение мероприятий теряет смысл.

Расчеты по минимизации периода времени послеаварийного восстановления систем теплогазоснабжения и потерь в материальном и денежном эквиваленте предлагается осуществлять в три этапа:

1. Прогнозирование степени разрушения систем теплогазоснабжения.

2. Формирование мероприятий по предотвращению аварий или снижению масштабов разрушений.

3. Выбор наиболее эффективных вариантов послеаварийного восстановления.

Первый этап - прогнозирование степени разрушения систем теплогазоснабжения от внешних механических воздействий - предлагается, в свою очередь, выполнять в шесть этапов:

1. Формирование баз исходных данных по внешним разрушающим воздействиям и систем ТГС на рассматриваемой территории.

2. Выбор сценариев аварии.

3. Выбор математических моделей для прогнозирования масштабов аварий по выбранному сценарию.

4. Формирование баз исходных данных для реализации выбранных математических моделей.

5. Проведение численного эксперимента по прогнозированию масштабов аварий на объектах систем ТГС.

6. Оценка достоверности результатов прогнозирования масштабов аварий на объектах систем ТГС.

Второй этап моделирования основан на использовании результатов, полученных в ходе первого этапа моделирования. Он включает в себя формирование мероприятий, направленных на исключение возникновения предельного напряженного состояния трубопроводов систем теплогазоснабжения в результате возникновения внешних механических воздействий с целью полного предотвращения аварий или снижения масштабов разрушений.

Третий этап - сравнение альтернативных вариантов послеаварийного восстановления систем теплогазоснабжения и выбор наиболее эффективного из них.

Действующие на сегодняшний день нормативные документы и методики устанавливают порядок разработки, утверждения и пересмотра плана локализации и ликвидации аварий, регламентируют лишь общие положения, процедуру расчета и порядок количественной оценки экономического ущерба. Представляется целесообразным решение задач выбора варианта послеаварийного восстановления систем теплоснабжения осуществлять путем расчета комплекса из трех составляющих (трех функций): функции потерь, функции расходов и функции доходов.

Сущность и порядок формирования составляющих данного комплекса таковы, что он может быть адаптирован для любой системы (например, системы тепло- или газоснабжения) и любого вида внешнего механического воздействия.

Функция потерь представляет собой возможный ущерб (в денежном эквиваленте) окружающей среде и потребителям в результате прекращения подачи продукта (теплоносителя или газообразного топлива).

Функция расходов представляет собой совокупность расходов (в денежном эквиваленте) на восстановление систем инженерного обеспечения и осуществление мероприятий по предотвращению аварий.

Таблица

Значения пределов удельных потерь для магистральных газопроводов

Категории обслуживания	Пределы значений $C_y$ , руб./м <sup>3</sup>	
	$C_{y \min}$	$C_{y \max}$
При обслуживании газопроводами экономически развитых районов	0,79	0,81
При транспортировке газа (или его части) в страны ближнего зарубежья	0,81	0,83
В остальных случаях	0,76	0,79

Функция доходов представляет собой возможный выигрыш (в денежном эквиваленте), обусловленный успешностью прогнозирования степени разрушения систем инженерного обеспечения и предварительным осуществлением мероприятий по предотвращению аварий.

Совершенно очевидно, что все эти величины зависят от интенсивности внешних механических воздействий на системы инженерного обеспечения. Кроме того, для каждого вида внешних механических воздействий возможны различные решения. Альтернативный вариант будет характеризоваться своими значениями функций потерь, доходов и расходов.

Расчет функции потерь.

Максимально возможные в денежном эквиваленте потери  $L_{\max}$  возникают в результате реализации наиболее неудачного варианта восстановления систем инженерного обеспечения и /или без предварительных дополнительных затрат на предотвращение возникновения аварии.

Предотвращенные потери в денежном эквиваленте представляют собой разность между максимально возможными непредотвращенными потерями.

Под непредотвращенными потерями  $L_n$  в денежном эквиваленте понимается сумма ущерба, нанесенного окружающей среде, зданиям и сооружениям различного назначения, в результате гибели людей, вследствие прекращения подачи продукта систем инженерного обеспечения потребителям, от выхода продукта транспортировки в атмосферу.

Предотвращенные потери  $L_n$  можно оценить следующим образом:

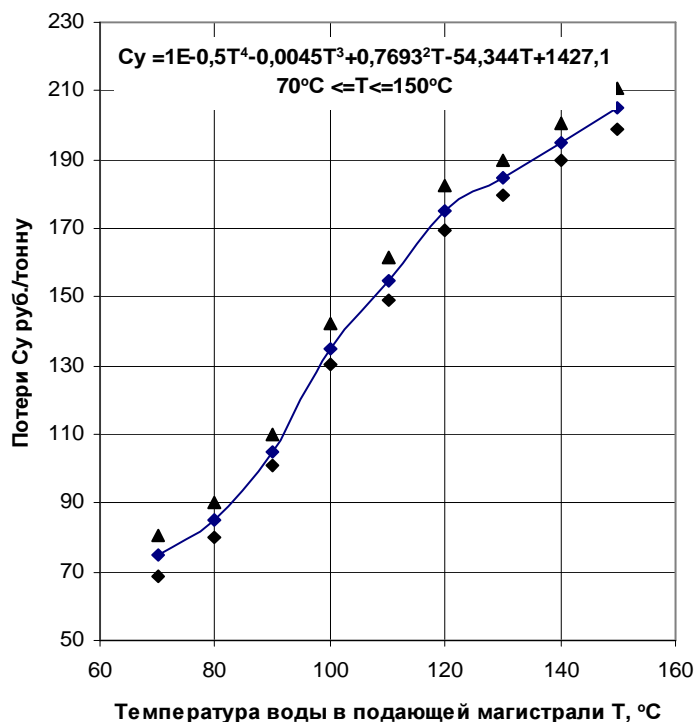
$$L_n = L_{окр} + L_{пот} + k_u \sum_{k=1}^t (Q_{Пк} \cdot C_{yk}) k', \quad (1)$$

где  $L_{окр}$ - потери, наносимые окружающей среде, включая потери, наносимые зданиям и сооружениям различного назначения;  $L_{пот}$ - потери от выхода транспортируемого продукта в атмосферу;  $Q_{Пк}$ - количество транспортируемого продукта, недопоставленное потребителям по причине возникновения аварии, т;  $C_{yk}$ - значение удельных потерь на единицу непосредственного потребителям продукта, руб/т;  $k_u$ - коэффициент индексации.

Определение величин  $L_{окр}$  и  $L_{пот}$  может быть выполнено с помощью известных утвержденных методик и рекомендаций. В то же время, существующие методические рекомендации и нормативные документы для определения потерь в результате гибели людей вследствие прекращения подачи продукта систем инженерного обеспечения потребителям достаточно громоздки и зачастую требуют создания и постоянного мониторинга базы данных весьма и весьма значительного масштаба.

Для возможности укрупненной оценки непредотвращенных потерь в денежном эквиваленте нами были предложены значения удельных потерь от недопоставки потребителям продукта (теплоты или газообразного топлива) и потерь в результате гибели (травматизма) людей, пропажи их без вести и т.п.

Для этого было проведено обобщение информации по 59 авариям на тепловых сетях и 34 авариям на магистральных газопроводах (вне зависимости от причин их возникновения). Затем методом минимаксных оценок были определены удельные потери  $C_y$  на единицу транспортируемого продукта. В качестве примера на рис.1 приведена зависимость  $C_y$  для различных значений температуры теплоносителя в магистрали тепловой сети.



**Рис. 1.** Зависимость удельных потерь в результате недопоставки теплоносителя от температуры воды в подающей магистрали тепловой сети

Расчет функции расходов.

Расходы  $P$ , возникающие в процессе восстановления, а также в результате принятия предварительных мер по предотвращению возникновения аварии, можно рассчитать следующим образом:

$$P = P_{\text{восст.}} + P_{\text{р.з.}}, \quad (2)$$

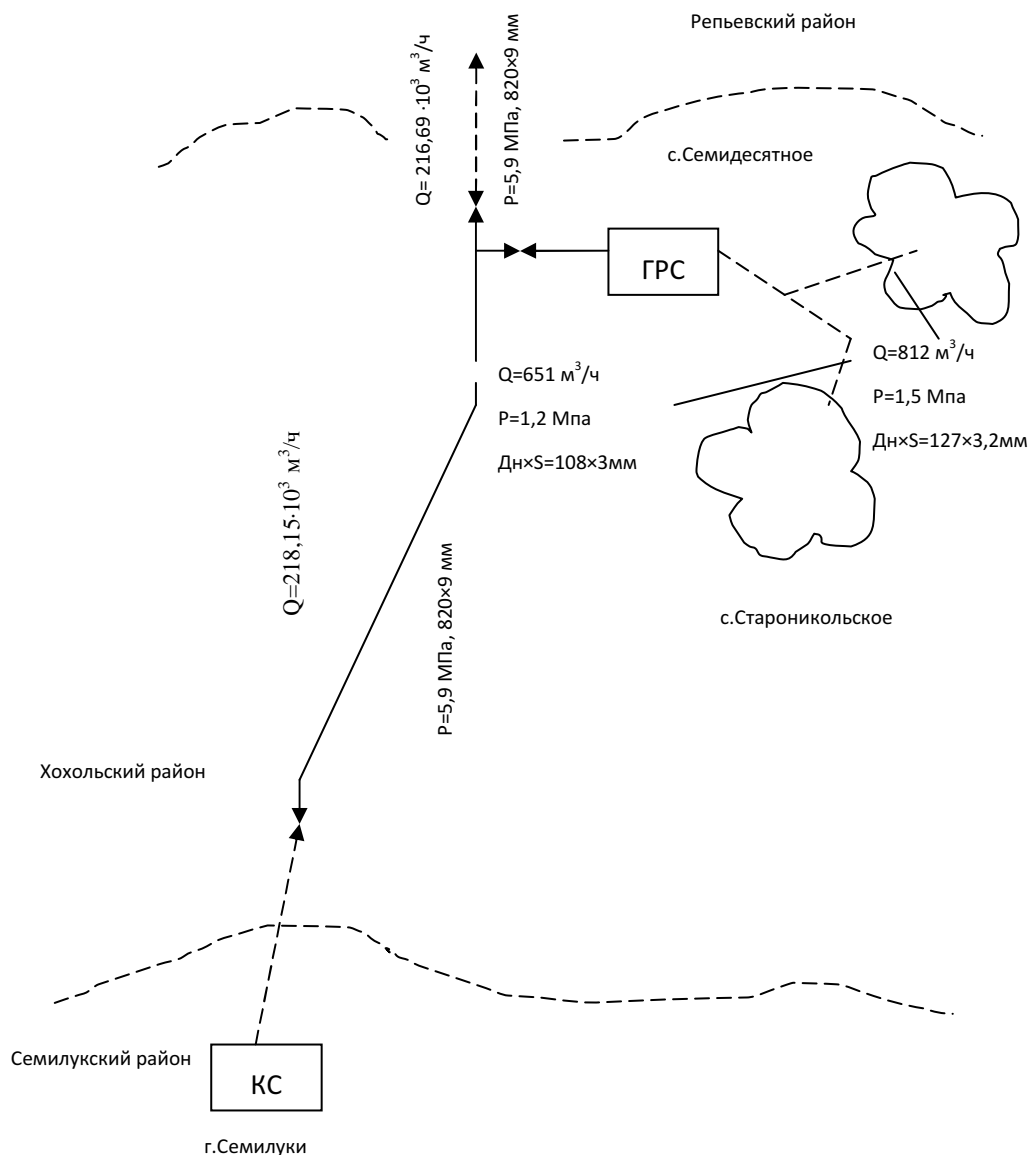
где  $P_{\text{восст.}}$  - затраты, возникающие непосредственно при восстановлении системы теплогасоснабжения;  $P_{\text{р.з.}}$  - затраты, возникающие в результате реализации защитных мер, направленных на предотвращению возникновения аварии, можно рассчитать следующим образом.

Расчет функции доходов.

Доходы  $D$ , возникающие в результате реализации конкретного варианта процесса восстановления и приведения систем теплоснабжения в работоспособное состояние, могут быть определены следующим образом:

$$D = L_{\max} - L_{ii} - P, \quad (3)$$

Ниже представлен пример результатов численного расчета по выбору вариантов восстановления системы газоснабжения после аварии, вызванной паводком высокой интенсивности (на примере участка магистрального газопровода высокого давления, проложенного вблизи сел Староникольское и Семидесятное Воронежской области). Газ транспортируется от компрессорной станции (КС) к газораспределительной станции (ГРС), расположенной вблизи села Староникольское (рис.2).



**Рис. 2.** Схема расположения объектов системы транспортировки газа

Участок магистрального газопровода протяженностью 4200 м проложен подземно и частично надземно на отдельно стоящих опорах. Последнее обусловлено наличием вблизи трассы болотистой местности, а также высоким уровнем стояния подземных грунтовых вод. Давление газа на рассматриваемом участке  $P=5,9 \text{ МПа}$ .

Геофизическими изысканиями определена коррозионная активность грунтов по трассе газопровода - средняя и высокая. Блуждающие токи по трассе газопровода не зарегистрированы. Рельеф местности спокойный.

В случае резкого потепления в весенний период года по существующим прогнозам уровень воды может резко увеличиться и достигнуть критической отметки, что может

привести к разрушениям магистрального трубопровода и возникновению аварийной ситуации.

После проведенных расчетов были определены места на магистральном газопроводе, находящиеся в предельном напряженном состоянии вследствие воздействия на него паводковых наводнений. Это участки газопровода на расстоянии около 2 м от неподвижных опор газопровода. Здесь максимальный изгибающий момент превышает допустимые значения, определяемые условием прочности в заданном сечении газопровода.

Разработка альтернативных вариантов восстановления магистрального газопровода при авариях.

На магистральном газопроводе могут быть два направления развития аварии:

- без взрыва или возгорания газовой смеси;
- со взрывом или возгоранием газовой смеси.

Необходимо рассмотреть возможные варианты послеаварийного восстановления участков магистрального газопровода вследствие воздействия на него паводковых наводнений, а также рассчитать возможные потери. Расходы и доходы в каждом конкретном случае.

Предлагается рассмотреть четыре варианта процесса приведения магистрального газопровода в работоспособное состояние:

1 вариант. Дождавшись спада уровня воды до отметки, позволяющей полностью отремонтировать магистральный газопровод (отм.+108,5 м), провести ряд мероприятий по замене разрушившихся участков и приведению магистрального газопровода в работоспособное состояние.

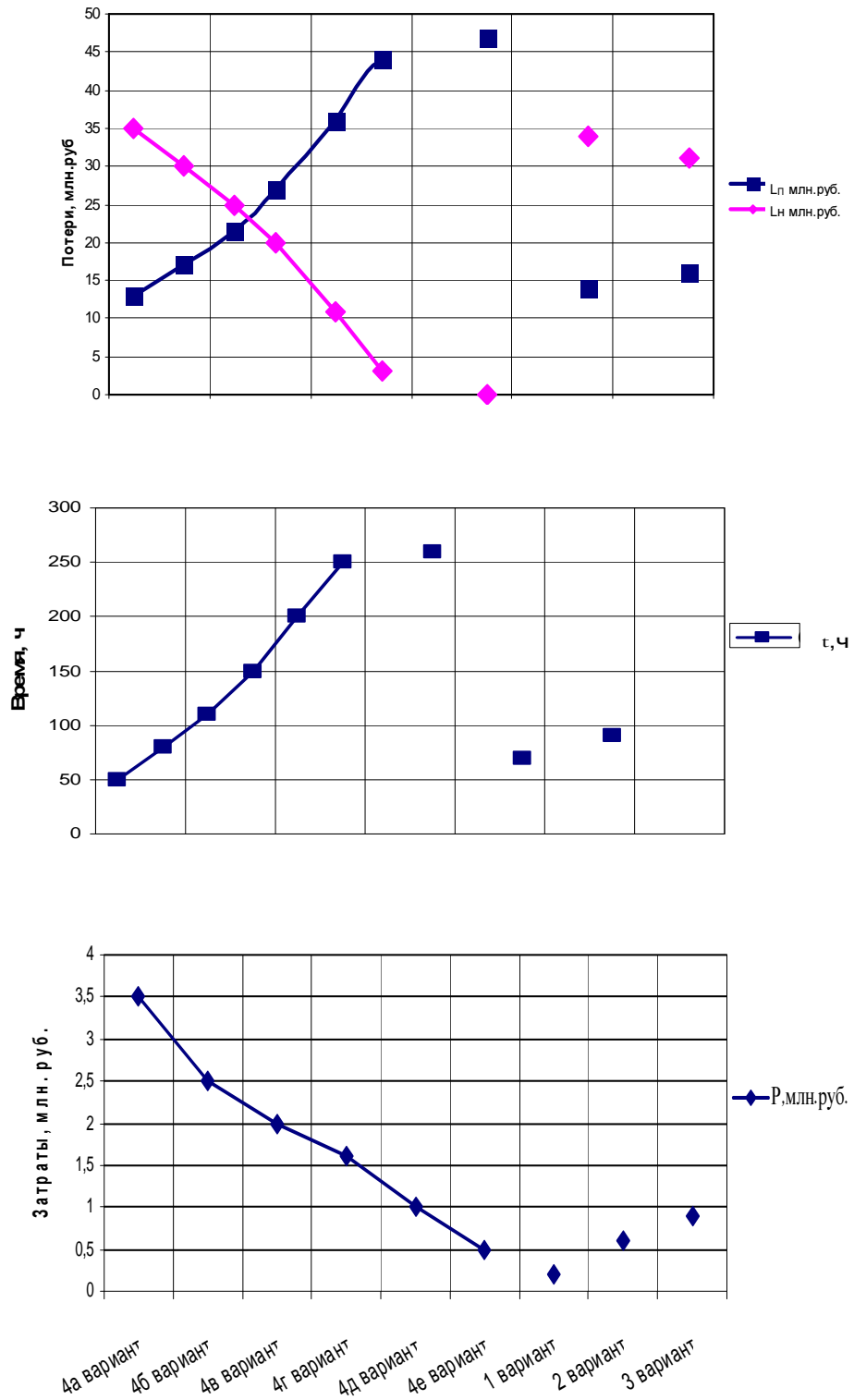
2 вариант. Дождавшись спада уровня воды до отметки, позволяющей только частично отремонтировать магистральный газопровод (отм.+110,0 м), провести ряд мероприятий по замене разрушившихся участков и приведению магистрального газопровода в работоспособное состояние, предварительно смонтировав чугунные утяжелители с помощью водолазов и установив газопровод на проектные отметки.

3 вариант. Не дожидаясь спада уровня воды до отметки, позволяющей отремонтировать магистральный газопровод, произвести ряд мероприятий с помощью водолазов, а именно: смонтировать утяжелители на газопровод под водой и уложить газопровод в проектное положение, демонтировать разрушившиеся участки труб и смонтировать новые с проведением необходимых контрольных работ.

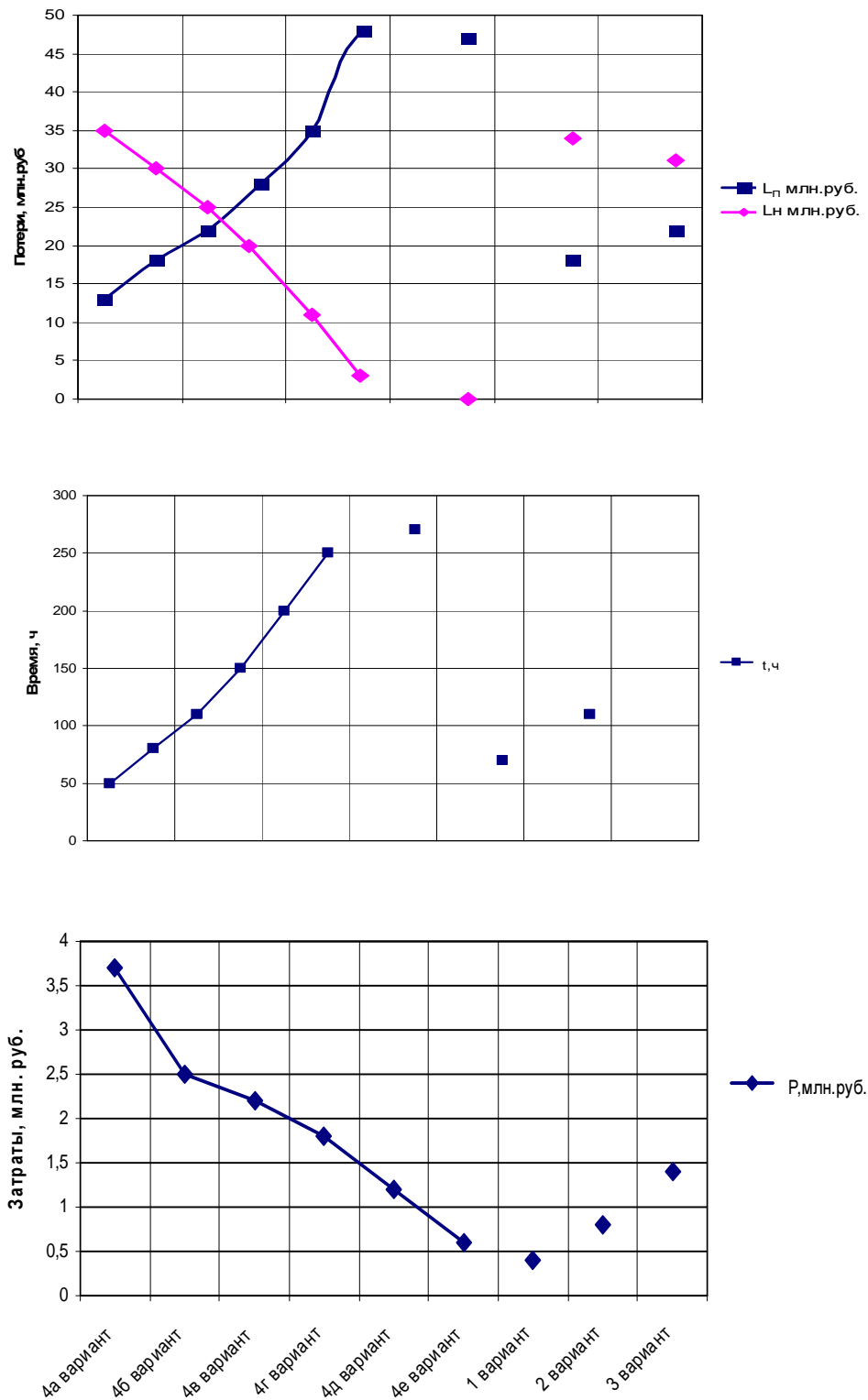
4 вариант. Провести ряд работ по разработке грунта экскаваторами и отводу воды для спада ее уровня до отметки, позволяющей отремонтировать магистральный газопровод. Затем произвести работы по замене разрушившихся участков и приведению магистрального газопровода в работоспособное состояние. Затраты на восстановление в денежном эквиваленте  $L_4$ ; время с момента отключения подачи газа потребителям до возобновления подачи будет равно  $t_4$ .

В 4 варианте рассмотрено несколько способов (а, б, в, г, д, е) разработки грунта с помощью разного количества экскаваторов и автомобилей-самосвалов.

На рис. 3 и 4 представлена графическая иллюстрация результатов расчета предотвращенных потерь, затрат на восстановление и затрат времени на ликвидацию последствий аварии для рассмотренных вариантов восстановления магистрального газопровода.



**Рис. 3.** Значения предотвращенных  $L_p$  и непредотвращенных  $L_n$  потерь, расходов на восстановление  $P$  и времени восстановления  $t$  для различных вариантов процесса восстановления магистрального газопровода (авария без взрыва газозвушной смеси)



**Рис. 4.** Значения предотвращенных  $L_{\text{п}}$  и непредотвращенных  $L_{\text{н}}$  потерь, расходов на восстановление  $P$  и времени восстановления  $t$  для различных вариантов процесса восстановления магистрального газопровода (авария с последующим взрывом газозвушной смеси)

Анализ приведенных результатов позволяет сделать вывод, что при реализации четвертого варианта восстановления магистрального газопровода для обоих сценариев развития (с взрывом и возгоранием газозвушной смеси или без них) непредотвращенные потери составляют наименьшее значение (12,41 млн руб.- для



сценария развития без взрыва и возгорания газовой смеси и 12,57 млн руб.- для сценария развития с взрывом и возгоранием газовой смеси). Предотвращенные потери достигают наибольших значений (34,4 млн руб.-для обоих сценариев развития аварии) по сравнению с другими вариантами восстановления. Однако следует отметить, что этот вариант восстановления требует использования значительного количества строительных машин (экскаваторов и самосвалов), что не всегда может быть реализовано на практике.

Максимальные потери в денежном эквиваленте от возникновения аварии на магистральном газопроводе, вследствие воздействия на него паводковых наводнений, составляют  $L_{\max} \approx 46,81$  млн руб. с учетом затрат на восстановление. Они возникают в результате реализации первого варианта проведения аварийно-восстановительных работ.

Таким образом, представленные на рис.3 и 4 результаты расчетов помогают выбрать наиболее эффективные варианты восстановления магистрального газопровода по результатам сравнения, исходя из имеющейся материально-технической базы.

С другой стороны расчеты дают возможность выполнить и обратную задачу: предварительно спланировать материально-техническую базу аварийно-восстановительных служб (сформировать парк автотранспорта и необходимый штат квалифицированных сотрудников).

### Выводы

Предложенная структура определения потерь от аварий и расходов на восстановление теплогазопроводов позволяет проанализировать различные варианты восстановления трубопроводов и выбрать наиболее рациональный.

В статье рассмотрены три варианта сценария деятельности служб и методики расчета по минимизации периода времени послеаварийного восстановления систем теплогазоснабжения и потерь в материальном и денежном эквиваленте.

### Библиографический список

1. **Мелькумов, В.Н.** Прогнозирование фильтрации газа в грунте при его утечке из подземного газопровода / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, С.П. Павлюков, А.В. Черемисин // Известия Орловского гос. техн. ун-та. Серия: Строительство и транспорт. - 2008. - № 3. - С. 61-65.
2. **Мелькумов, В.Н.** Нестационарное поле концентраций природного газа в скважине при его утечке из подземного газопровода / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, С.П. Павлюков, А.В. Черемисин // Приволжский научный журнал. - 2008. - № 4. - С. 98-103.
3. **Мелькумов, В.Н.** Определение оптимального маршрута трассы газопровода на основе карт стоимости влияющих факторов / В.Н. Мелькумов, И.С. Кузнецов, Р.Н. Кузнецов // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. - 2009. - № 1. - С. 21-27.
4. **Мелькумов, В.Н.** Расчет аварийного поступления природного газа в производственное помещение / В.Н. Мелькумов, В.И. Лукьяненко, С.Н. Кузнецов, А.В. Черемисин // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. - 2007. - Т. 3, № 1. - С. 222-223.
5. **Мелькумов, В.Н.** Прогнозирование параметров отказов элементов тепловых сетей методом авторегрессивного интегрированного скользящего среднего / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, Р.Н. Кузнецов, А.А. Горских // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. - 2009. - № 4. - С. 28-32.
6. **Мелькумов, В.Н.** Разработка метода определения оптимального маршрута прокладки газопровода на основе генетических алгоритмов / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, Р.Н. Кузнецов // Приволжский научный журнал. - 2009. - № 3. - С. 69-74.

7. **Мелькумов, В.Н.** Математическое моделирование диффузионных процессов загрязнения окружающей среды от объектов сжиженного газа / В.Н. Мелькумов, В.С. Турбин, Н.С. Котельников // Известия вузов. Строительство. - 2002. - № 6. - С. 62-67.

8. **Мелькумов, В.Н.** Исследование работы элементов пилотного устройства / В.Н. Мелькумов, И.Г. Лачугин, С.Н. Кузнецов // Известия вузов. Строительство. - 2002. - № 1-2. - С. 135-141.

9. **Мелькумов, В.Н.** Комплексная многокритериальная оптимизация размещения объектов сжиженного газа / В.Н. Мелькумов, Н.С. Котельников, В.С. Турбин // Вестник Тульского гос. ун-та. Серия: Энергетика. - 2002. – Вып. 72. - С. 112-118.