УДК 65.05+628.23 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.79049

РАСЧЕТ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СЕТЯХ ВОДООТВЕДЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д-р техн. наук Д.Ф. Гончаренко, кандидаты техн. наук П.Г. Галушко, Б.С. Сорокин, Д.А. Бондаренко

РОЗРАХУНОК НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРІПЛЕННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ НА МЕРЕЖАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ У СКЛАДНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Д-р техн. наук Д.Ф. Гончаренко, кандидати техн. наук П.Г. Галушко, Б.С. Сорокін, Д.О. Бондаренко

CALCULATION OF THE BEARING ELEMENTS OF ROOF SUPPORTS TO IMPLEMENTATION THE REPAIR-RESTORATION WORKS ON SEWERAGE NETWORKS IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

Doct. of techn. sciences D.F. Goncharenko, candidates of techn. sciences P.G. Galushko, B.S. Sorokin, D.A. Bondarenko

Значительная часть канализационных сетей в городах Украины находится в настоящее время в аварийном или предаварийном состоянии. В этой связи первостепенное значение приобретает задача разработки экологически безопасных и экономически эффективных решений проведения ремонта и восстановления канализационных сетей в стесненных городских условиях. В статье приведены результаты расчетов крепи на расчетную комбинацию загружения, включающую давление грунта котлована, строительные машины и транспорт на поверхности грунта в месте проведения ремонтно-восстановительных работ на канализационных трубопроводах.

***Ключевые слова**: системы водоотведения, крепь, ремонтно-восстановительные работы.*

Значна частина каналізаційних мереж у містах України знаходиться на сьогодні в аварійному або передаварійному стані. У зв'язку із цим першочергового значення набуває завдання розроблення екологічно безпечних і економічно ефективних рішень проведення ремонту та відновлення каналізаційних мереж в обмежених міських умовах. У статті наведено результати розрахунків кріплення на розрахункову комбінацію завантаження, що включає тиск ґрунту котлована, будівельні машини і транспорт на поверхні ґрунту в місці проведення ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних трубопроводах.

***Ключові слова**: системи водовідведення, кріплення, ремонтно-відновлювальні роботи.*

A considerable part of sewerage networks in the cities of Ukraine is currently in an emergency or pre-emergency state. In this context, the task of paramount importance to develop environmentally sound and cost effective solutions for repair and restoration of sewerage networks in crowded urban environments. Analysis of the literature showed that most of them devoted to the technological, technical and organizational solutions repair and restoration of pipelines laid at shallow depths. Thus, the research questions and the development of effective technologies for the rehabilitation of sewer pipes located in difficult geological conditions, should be further developed. This article gives an analysis of the existing lining structures used for repair work on the sewerage networks. Installed worst case geotechnical conditions. Shows the results of the lining on the calculated load combinations, including earth pressure excavation, construction machinery and vehicles on the ground surface at the site of the repair work of sewerage pipelines at depths greater than 4-5 m. Proposed rational decision angular mates horizontal frames lining .

***Keywords**: sewerage system, roof support, repairs work.*

Введение. Значительная часть канализационных сетей в городах Украины находится в настоящее время в аварийном или предаварийном состоянии. Подтверждением этого являются многочисленные аварии на сетях, происходящие как в мегаполисах, так и малых городах страны.

Во многих городах Украины канализационные трубопроводы располагаются в водонасыщенных грунтах, чаще всего в водонасыщенных песках. Кроме того, в зоне их расположения грунты в большинстве случаев различны по составу, так как их структура нарушается при прокладке сетей. Нередко вблизи и над канализационными трубопроводами проходят другие коммунальные сети. Очень часто канализационные трубопроводы находятся под проезжей частью дорог и тротуарами. Ремонтно-восстановительные мероприятия на сетях канализации во многих случаях приходится проводить без остановки их работы, что увеличивает продолжительность ремонта.

В настоящее время значительная часть канализационных трубопроводов, расположенных на глубине 5 м и более, практически полностью выработала свой ресурс, что подтверждается увеличивающимся с каждым годом числом аварий [1-3]. Проведение ремонтно-восстановительных работ на значительной глубине в условиях плотной городской застройки при минимальных размерах строительных площадок характеризуется высокой трудоемкостью и продолжительностью, что приводит к значительным финансовым затратам.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Чаще всего ремонтно-восстановительные работы ведутся в плотно застроенных частях города при минимальных размерах строительных площадок и минимальных объемах вскрышных работ на поверхности грунта.

Трудоемкость и продолжительность ремонтно-восстановительных работ резко возрастает, если поврежденный трубопровод заложен в водонасыщенных грунтах на глубине более 6 м. При этом водопонижение осуществляется через пробуренные скважины, вскрытие выработки производится с использованием трудоемкого временного крепления или дорогостоящего металлического шпунтового ограждения.

В этой связи первостепенное значение приобретает задача разработки экологически безопасных и экономически эффективных решений проведения ремонта и восстановления канализационных сетей в водонасыщенных грунтах на глубине от 7 до 10 м в стесненных городских условиях.

Анализ последних исследований и публикаций. В городах Украины накоплен большой опыт ремонта и восстановления сетей водоотведения с применением современных материалов и конструкций.

В ряде опубликованных работ рассмотрены технологические, технические и организационные решения ремонта и восстановления трубопроводов, проложенных на небольшой и значительной глубине, а также в полупроходных тоннелях.

Заслуживают внимания вопросы повышения эксплуатационной долговечности канализационных сетей Харькова, рассмотренные в работах И.А. Абрамовича [4-6].

Разработке технологических решений, повышающих эффективность ремонтно-восстановительных работ при ликвидации аварий на канализационных коллекторах, посвящены исследования И.В. Коринько, А.Н. Коваленко [7-9].

В этих работах теоретически обоснованы и разработаны технологические решения по ликвидации аварий на канализационных коллекторах, отличительной особенностью которых является двойная защита массива и поверхности грунта от сдвижения и деформаций путем искусственного закрепления грунта и встречного продавливания через завал колец вторичной обделки.

В исследованиях Д.Ф. Гончаренко, обобщенных в работе [10], представлена методика определения состояния сетей и выбора метода их ремонта и восстановления, которая включает:

– существующие подходы к определению состояния конструкций сетей водоотведения;

– научное обоснование методики определения состояния сетей водоотведения и выбора стратегии их ремонта;

– методологические основы моделирования визуализации сетей водоотведения;

– рекомендации по выбору методов ремонта и восстановления сетей.

В работах А.А. Добряева [11, 12] разработаны технологические, технические и организационные решения ремонта и восстановления трубопроводов открытым способом с применением ребристого полиэтилена. Предложена методика расчета монолитного железобетонного трубопровода, футерованного ребристым полиэтиленом.

В научных публикациях С.В. Храменкова, О.Г. Примина, В.Н. Орлова выполнен анализ прогрессивного отечественного и зарубежного опыта восстановления, санации и прокладки водопроводных и водоотводящих (канализационных) сетей с помощью бестраншейных технологий. Рассмотрены вопросы защиты трубопроводов от коррозии. Описаны современные методы нанесения внутренних защитных покрытий, приведены характеристики материалов и оборудования для их реализации [13-15].

Научные исследования Е.Б. Клейна [16-18] посвящены вопросам разработки технических, технологических и организационных решений, направленных на повышение эффективности ремонтно-восстановительных работ на канализационных сетях, расположенных в водонасыщенных грунтах. Автором рассмотрены основные факторы, которые снижают надежность эксплуатации сетей, расположенных в водонасыщенных грунтах и причины их разрушения.

Среди зарубежных ученых, исследовавших открытый и закрытый способы ремонта и восстановления трубопроводов водоотведения, следует отметить Д. Штайна [19], М. Доманна, Г. Файена, Р. Хаусмана, Г. Риссе [20], Ф. Губера [21], П. Пфанненшмидта, Й. Хорстмана [22], У. Винклера [23] и др. В работах этих авторов основное внимание уделено материалам и конструкциям, которые используются при открытом способе строительства и ремонта сетей водоотведения. По мнению исследователей, главными являются трубы из высокопрочного бетона и железобетона, полиэтилена, полихлорвинила, полимербетона, стеклопластика и других высокоэффективных материалов и конструкций.

Определение цели и задач исследования. Изложенное выше дает основание сделать вывод о том, что вопросы

исследования и разработки эффективной технологии восстановления канализационных трубопроводов, расположенных в сложных геологических условиях, требуют своего дальнейшего развития.

Целью настоящего исследования является расчет несущих элементов крепи для производства ремонтно-восстановительных работ на сетях водоотведения в сложных геологических условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи:

– осуществить анализ существующих конструкций крепей;

– определить наиболее неблагоприятные варианты инженерно-геологических условий эксплуатации крепи;

– провести расчет элементов крепи на расчетную комбинацию загружения, включающую давление грунта котлована, строительные машины и транспорт на поверхности грунта в месте проведения ремонтно-восстановительных работ на глубинах, превышающих 4-5 м.

Основная часть исследования. Опыт выполнения работ по ликвидации аварий на канализационных трубопроводах Харькова [3] показывает, что при значительной глубине заложения и наличии грунтовых вод практически во всех случаях возникает необходимость устройства шпунтового ограждения в виде крепи (рис. 1).

Как правило, крепь устанавливается в несколько этапов на всю глубину заложения трубопроводов. При наличии грунтовых вод работы по устройству крепи сопровождаются мероприятиями по водопонижению [24].

Выполненный авторами работы [24] анализ проведенных в последние годы ремонтно-восстановительных работ на канализационных трубопроводах Харькова показал, что в качестве основного несущего профиля для устройства крепи использовался двутавр № 30.

Рис. 1. Устройство крепи и системы иглофильтров вакуумного водопонижения на одном из участков сети водоотведения Харькова

В то же время наблюдения, выполненные при устройстве крепи на трубопроводах, залегающих на глубине более 4-5 м, показали, что в некоторых случаях наблюдается деформация несущих конструкций крепи, что может привести к обвалам и непредвиденным последствиям.

Следует отметить, что применение в некоторых случаях инвентарной крепи как отечественного, так и зарубежного производства не всегда представляется возможным в силу специфических условий исторически сложившейся городской среды.

Отсутствие в настоящее время рекомендаций по расчету и проектированию крепей для их устройства на глубинах залегания трубопроводов более 5 м подтверждает актуальность рассматриваемой задачи.

В данной статье авторами приведен расчет крепи, которая может быть использована на больших глубинах в различных инженерно-геологических условиях. Предварительно установлены наиболее неблагоприятные варианты инженерно-геологических условий, в частности выдвинуто предположение, что грунт на всех глубинах одинаковый – песок пылеватый, водонасыщенный. Плотность грунта принята равной 2 т/м^2, модуль упругости – 1000 т/м^2, коэффициент Пуассона – 0,3.

Расчет и проектирование крепи выполнены в запас прочности с грунтовыми условиями на 10 %.

Грунт в условиях строительной площадки представлен в виде массива объемных конечных элементов. Размер массива принят 32×32×9 м, а объемные конечные элементы – в виде прямоугольных призм с размерами 0,4×0,4×0,4 м. Определение давления на боковые поверхности котлована от собственного веса грунта выполнено предварительно вручную по методике Кулона-Мора. Окончательный расчет выполнен с использованием программного комплекса «ЛИРА», версия 9.6.

Для определения наиболее неблагоприятной схемы загружения в условиях строительной площадки предварительно рассмотрено два варианта:

– размещение в зоне котлована автомобильного крана, оборудованного грейферным ковшом и автомобиля КРАЗ 256;

– размещение в зоне котлована автомобиля КРАЗ 256, автомобильного крана и троллейбуса ЛАЗ – Е301Д1 (при условии выполнения работ на проезжей части микрорайона).

По результатам расчета напряжений в грунте по боковой стенке котлована (рис. 2) наиболее неблагоприятным вариантом загружения является второй вариант, схема которого представлена на рис. 3.

Крепь представляет собой набор горизонтальных рам, расположенных по высоте котлована на отметках: 0,0 м – 1,6 м; 1,6 м – 3,2 м; 3,2 м – 4,4 м; 4,4 м – 5,6 м; 5,6 м – 6,4 м; 6,4 м – 7,2 м (рис. 4).

Нагрузки на каждую раму собраны с соответствующих грузовых площадей и приложены в виде равномерной распределенной нагрузки по всему контуру рамы. Элементами, передающими нагрузку на рамы, являются сплошные обшивки, выполненные из доски толщиной 50 мм.

Каждая горизонтальная рама представляет собой прямоугольную в плане, геометрически неизменяемую конструкцию с размерами в осях 7,0×3,0 м.

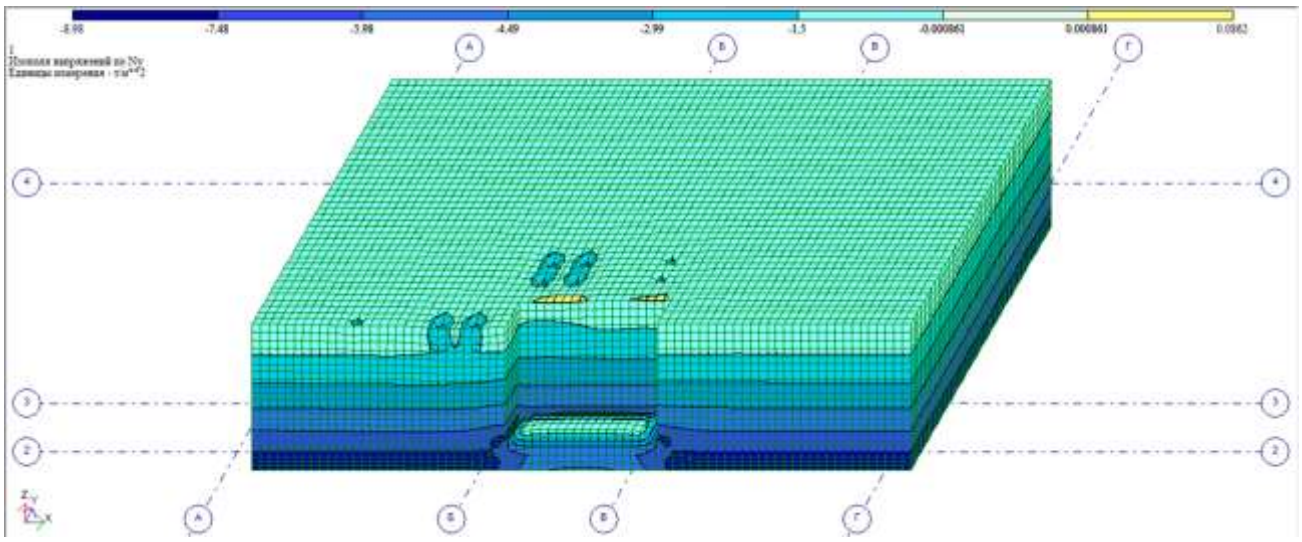

Рис. 2. Напряжения в грунте по боковой стенке котлована при загружении краном, троллейбусом и самосвалом

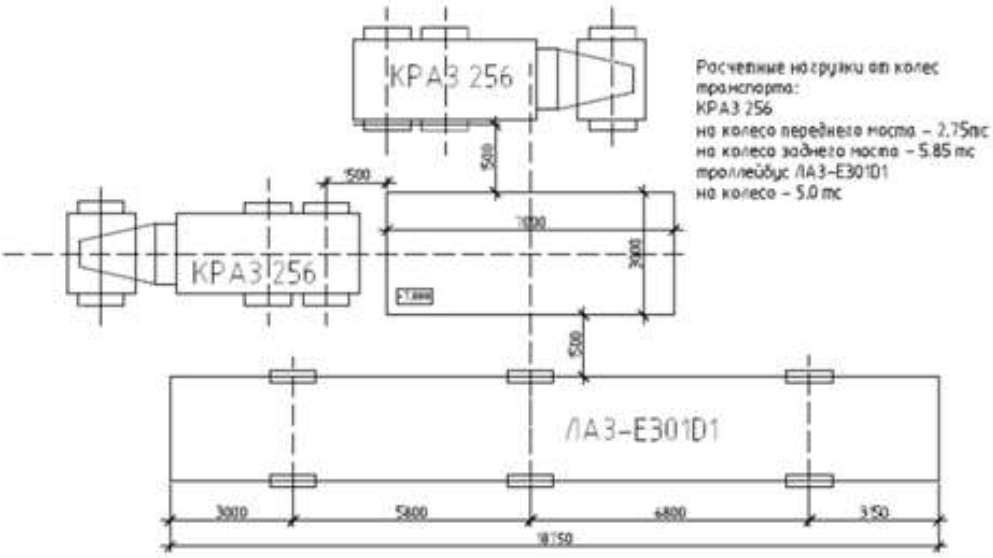

Рис. 3. Схема расположения строительных машин и общественного транспорта

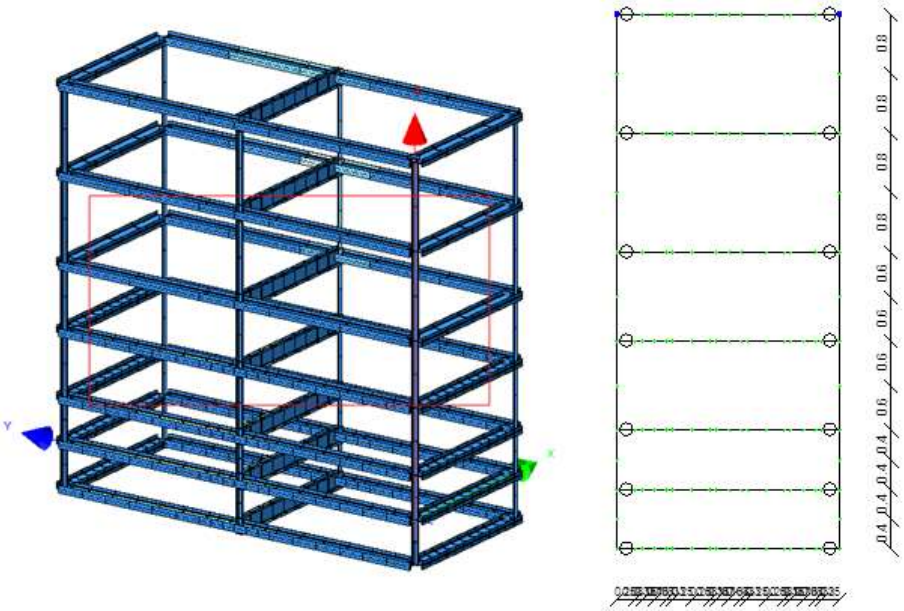

Рис. 4. Схема исследуемой крепи с размерами в осях 7,0×3,0 м

Объединение горизонтальных рам в единую конструкцию крепи осуществляется с помощью вертикальных элементов из равнополочных уголков 75×6 мм. Геометрическая неизменяемость обеспечивается жесткими узлами соединения продольных и поперечных балок рамы.

В каждой раме предполагается установка распорки, перебивающей пополам балку длиной 7 м, распорка к балкам присоединяется шарнирно. Наличие распорки приводит к существенному уменьшению расчетных усилий в элементах рамы (рис. 5).

Нагрузкой на крепь являются неравномерные напряжения на боковых поверхностях котлована, полученные в результате расчета на наиболее неблагоприятную комбинацию загружения.

В настоящее время конструкция крепи по предложению ремонтных участков

коммунального предприятия «Харьковводоканал» выполняется с использованием прокатного двутавра № 30.

Общая устойчивость крепи обеспечивается только односторонним упругим отпорам грунта, а общая устойчивость элементов рам обеспечивается только их формой и размерами сечения.

Поскольку в процессе эксплуатации крепи практически неизбежна вероятность ее замачивания, невозможно рассматривать деревянные щиты в качестве обшивки креплением рам. Таким образом, расчетная длина балок рам крепи из плоскости принята равной их геометрической длине.

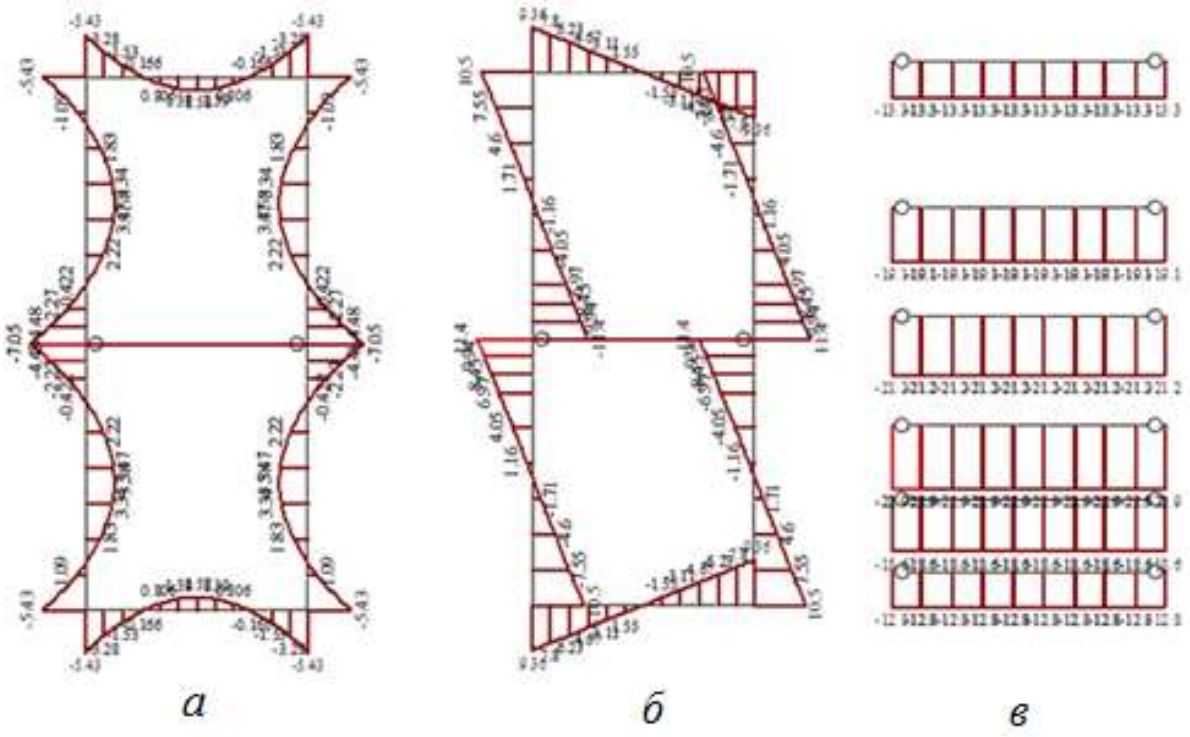

Рис. 5. Эпюры усилий:
а – эпюра усилий *My* для рамы, расположенной на отметке 5,6 м (максимально нагруженная);
б – эпюра усилий *Qz* для рамы, расположенной на отметке 5,6 м (максимально нагруженная);
в – эпюры сжимающих усилий *N* в распорках

Проведенные авторами расчеты показали, что крепь из двутавра № 30 не может удовлетворять требования расчета строительных конструкций по первой группе предельных состояний. В частности, использование элементов рам по общей устойчивости плоской формы изгиба составляет 189 % при требованиях норм не более 100 %.

Расчет по подбору сечения рам крепи выявил необходимость применения двутавра №40.

На рис. 6 приведены результаты исследования крепи из рам, скомпонованных соответственно из двутавров № 30 и № 40.

Схема расположения рам и схема решения углов рамы с использованием двутавра № 40 приведены на рис. 7 и 8.

Выводы по результатам исследования и перспективы, дальнейшее развитие данного направления. Таким образом, выполнен анализ существующей конструкции крепи, произведен ее расчет на расчетную комбинацию загружения, включающую давление грунта котлована, строительные машины и транспорт на поверхности грунта в месте проведения ремонтно-восстановительных работ на глубинах, превышающих 4-5 м.

Установлено, что для обеспечения надежной работы крепи, состоящей из ряда горизонтальных рам, при заданных размерах котлована 3,0 × 7,0 м, глубиной 7,0 м, следует выполнять рамы крепи из прокатного двутавра № 40.

Предложено рациональное решение угловых сопряжений горизонтальных рам крепи из двутавра № 40.

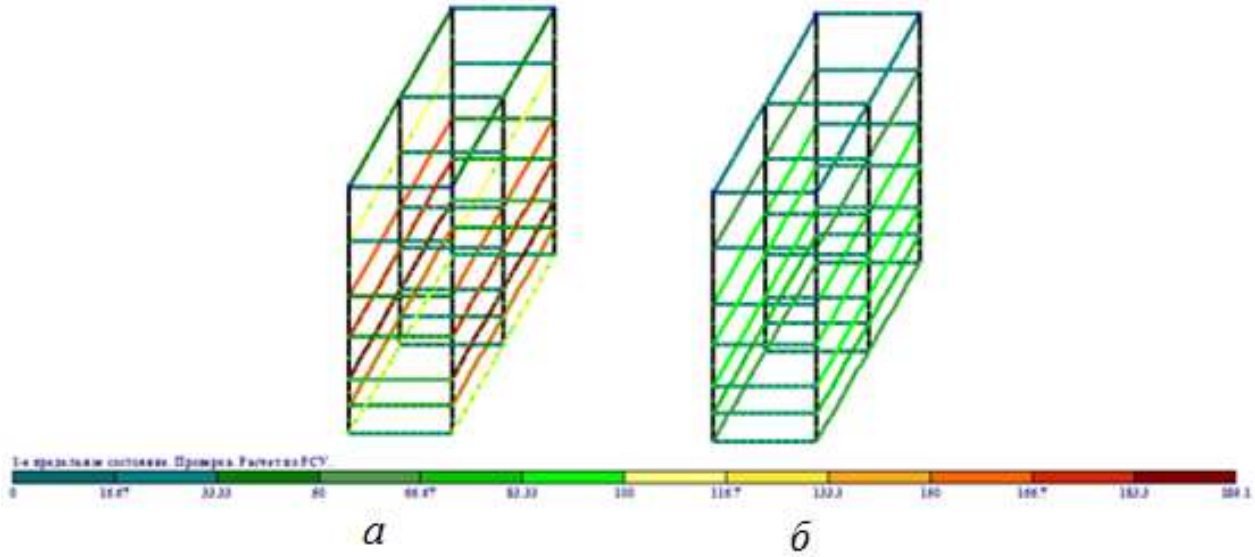

Рис. 6. Результаты проверки нагружения элементов крепи с использованием двутавра:
а – № 30; *б* – № 40

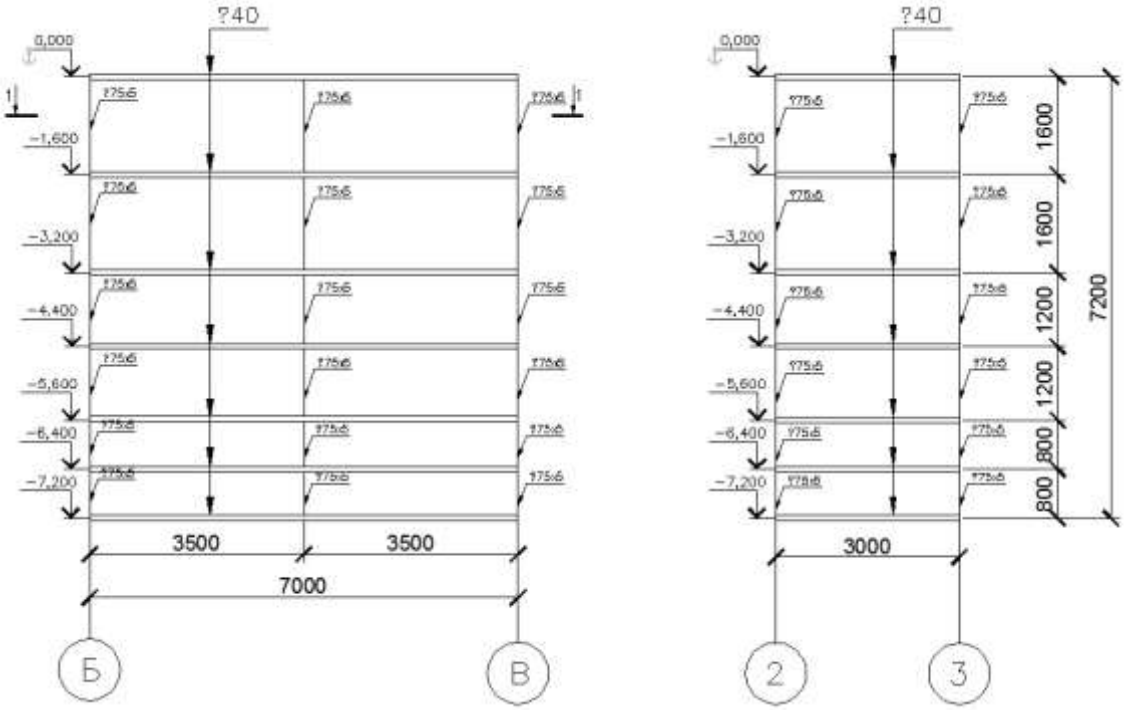

Рис. 7. Схема расположения рам

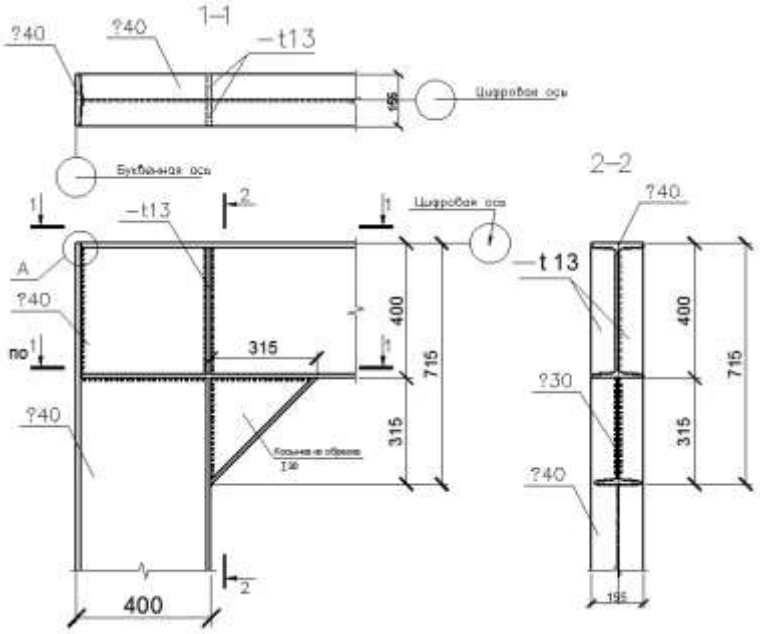

Рис. 8. Схема решения углов рамы

Список использованных источников

1. Гончаренко, Д.Ф. Ремонтно-восстановительные работы на канализационных сетях в водонасыщенных грунтах [Текст] / Д.Ф. Гончаренко, Е.Б. Клейн, И.В. Коринько. – Харьков: Прапор, 1999.– 160 с.
2. Гончаренко, Д.Ф. Ремонт канализационных трубопроводов, проложенных на глубине более 6 м [Текст] / Д.Ф. Гончаренко, О.В. Старкова, С.А. Забелин, В.М. Атаманчук // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 63. – С. 65−70.
3. Гончаренко, Д.Ф. Ремонт канализационного коллектора в условиях высокого уровня грунтовых вод [Текст] / Д.Ф. Гончаренко, Б.С. Сорокин, С.А. Забелин // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 65. – С. 90–96.
4. Абрамович, И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод [Текст] / И.А. Абрамович. – Харьков: Основа, 1996. – 316 с.
5. Абрамович, И.А. Сети и сооружения водоотведения: расчет, проектирование, эксплуатация [Текст] / И.А. Абрамович. – Харьков: Коллегиум, 2005. – 228 с.
6. Александров, В.Н. Сталефибробетонные блоки на основе стальной фибры типа «Волан» [Текст] / В.Н. Александров, Ю.И. Тетерин, Л.В. Вьюненко и др. // Транспортное строительство. – 2001. – Вып. 12. – С. 14−16.
7. Коваленко, А.В. Разработка решения по восстановлению канализационного тоннеля [Текст] / А.В. Коваленко // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – К.: КНУБА, 2001. – Вип. 9. – С. 8−12.
8. Коваленко, А.Н. Технологические решения, повышающие эффективность работ по ликвидации аварий на канализационных коллекторах [Текст] / А.Н. Коваленко, А.В. Коваленко, И.В. Коринько // Комунальне господарство міст. – К.: Техніка, 2000. – Вип. 3. – С. 3−5.
9. Коринько, И.В. Выполнение работ по восстановлению канализационного коллектора в г. Харькове с использованием отечественного оборудования [Текст] / И.В. Коринько, А.В. Коваленко // Сб. докладов Междунар. конгресса «ЭТЭВК – 2001». – Ялта, 2001. – С. 223−226.
10. Гончаренко, Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения [Текст]: монография / Д.Ф. Гончаренко. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
11. Добряев, А.А. Опыт ликвидации аварий на сетях водоотведения открытым способом [Текст] / А.А. Добряев // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2004. – Вип. 26. – С. 89-94.

12. Шматченко, В.І. Технологія відновлення трубопроводу водовідведення відкритим способом в м. Харкові [Текст] / В.І. Шматченко, В.С. Шмуклер, Д.Ф. Гончаренко, А.А. Добряєв // Будівництво України. – 2006. – Вип. 5. – С. 15−19.

13. Орлов, В.А. Бестраншейная реконструкция и техническое обслуживание водопроводных и водоотводящих сетей [Текст]: учеб. пособие / В.А. Орлов. – М.: МГСУ, 1998. – 64 с.

14. Орлов, В.А. Эксплуатация, реконструкция и строительство водопроводных и водоотводящих сетей с учетом экологического фактора [Текст] / В.А. Орлов // Строительство и архитектура. – 1997. – Вып. 2. – С. 70.

15. Храменков, С.В. Бестраншейные методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей [Текст] / С.В. Храменков, О.Г. Примин, В.А. Орлов. – М.: ТИМР, 2000. – 179 с.

16. Болотских, Н.С. Водопонижение при производстве ремонтных работ на канализационных коллекторах. Обзорная информация [Текст] / Н.С. Болотских, Е.Б. Клейн, Е.И. Олейник. – М.: Минжилкоммунхоз РСФСР, ЦБНТИ. Серия: водоснабжение и канализация, 1975. – Вып. 1/28. – 53 с.

17. Гончаренко, Д.Ф. Ремонтно-відбудовні роботи на каналізаційних мережах у водонасичених ґрунтах [Текст] / Д.Ф. Гончаренко, Ю.Б. Клейн, І.В. Коринько. – Харків: Прапор, 1999. – 158 с.

18. Клейн, Ю.Б. Водозниження під час ліквідації аварій на мережах каналізації [Текст] / Ю.Б. Клейн. – Київ: НМК ВО, 1992. – 104 с.

19. Stein, D. Instandhaltung von Kanalisationen [Текст] / D. Stein. – Berlin: Ernst, 1998. – 940 p.

20. Dinkelacker, A. Verhinderung von Ablage¬rungsbildungen in Schmutzwasserkanälen durch Wulstkugeln [Текст] / A. Dinkelacker // Band I. Dokumentation 1. Internationaler Kongreß Leitungsbau, Hamburg, 1987. – P. I/851-I/860.

21. Lang, H.-J. Bodenmechanik und Grundbau [Текст] / H.-J. Lang, J. Huder, P. Amann, A.M. Puzrin // Springer, 2007. – 336 p.

22. Horstmann, J. Geokunststoffe im Rohrleitungsbau [Текст] / J. Horstmann, P. Pfannenschmidt // Erd und Grundbau, 2002. – P. 29-33.

23. Winkler, U. Druckrohrleitung in Buxtehunde nach Hamburg [Текст] / U. Winkler. – Wasserwirtschaft, 2003. – P. 44-46.

24. Гончаренко, Д.Ф. Разработка крепи для производства ремонтно-восстановительных работ на канализационных сетях в сложных геологических условиях [Текст] / Д.Ф. Гончаренко, П.Г. Галушко, С.А. Забелин, О.В. Старкова // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – Вип. 69. – С. 75−80.

Гончаренко Дмитрий Федорович, д-р техн. наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Тел.: (057)700-02-40. E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua.

Галушко Павел Григорьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Харьковского национального университета строительства и архитектуры.

Сорокин Борис Сергеевич, аспирант кафедры технологии строительного производства Харьковского национального университета строительства и архитектуры.

Бондаренко Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры экономической кибернетики и информационных технологий Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Тел.: (050)262-14-48. E-mail: dm_bondarenko@yahoo.com.

Goncharenko Dmytro F., doct. of techn. sciences, professor, Vice Rector of research and educational work, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (057)700-02-40. E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua.

Galushko Pavel G., cand. of techn. sciences, Associate Professor, Department of Metal and Wooden Structures, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture.

Sorokin Boris S., postgraduate student Chair of construction technologies, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture.

Bondarenko Dmytro A., cand. of techn. sciences, Associate Professor, Department of Economic Cybernetics and Information Technologies, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (050)262-14-48. E-mail: dm_bondarenko@yahoo.com.