

УДК 628. 21

к.т.н. Григоренко Н. И.,
(ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР, n_grig86@mail.ru),
д.т.н. Дрозд Г. Я.
(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

МЕТОД РАСЧЕТА И ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Разработан метод расчета системы вакуумного транспортирования газожидкостной смеси в наклонных трубопроводах. Установлены основные факторы, влияющие на эффективность вакуумной транспортировки водовоздушной смеси. Даны рекомендации по выбору диаметров трубопроводов и длин расчетных участков в зависимости от расхода жидкости при оптимальном режиме работы вакуумной системы транспортирования жидкости. Предложен метод расчета с помощью программы Mathcad, позволяющий скорректировать величину потерь давления в системе вакуумной канализации при различных значениях средней скорости водовоздушной смеси и газосодержания. Выполнен сравнительный расчет для участка сети вакуумной канализации с использованием рекомендуемого алгоритма.

Ключевые слова: водовоздушная смесь, газосодержание, потери давления, вакуумная канализация, эффективность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На сегодняшний день отсутствие коммунальных сетей и сооружений для сбора и очистки сточных вод характерно для малых населенных пунктов, а также для части территорий малоэтажного жилищного строительства больших городов. По официальным данным Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, централизованными системами водоотведения обеспечено всего лишь 5,6 % общей их численности. В Российской Федерации эта цифра для малых городов, сел и поселков составляет более 45 % [2]. В странах Центральной Европы данный показатель колеблется в пределах 60–80 % [1].

Для решения этой проблемы есть несколько подходов. Это создание групповых систем водоотведения, обслуживающих группы населенных мест, с крупными сооружениями для очистки сточной воды или устройство локальных систем водоотведения малой производительности, обслуживающих отдельные населенные пункты, группы зданий, отдельные коммунальные

сооружения, с малыми установками для обработки стоков.

Для транспортирования малых расходов сточных вод наиболее рационально и экономически оправдано использование вакуумной канализации. Ее применение обосновано для населенных пунктов с малой плотностью заселения, а также для объектов временного пользования (лагеря, пансионаты, кемпинги), санитарных зон водоемников. Причем при проектировании и строительстве данной системы не возникает проблем с высоким уровнем грунтовых вод и сложных грунтовых условий. Более подробно использование вакуумной системы канализации рассмотрено авторами в [5].

Данная система уже получила широкое распространение в мире благодаря ряду преимуществ перед самотечной канализацией. Но сдерживающим фактором ее повсеместного распространения является отсутствие теоретически обоснованного алгоритма расчета. Недостаток теоретической базы обусловил тот факт, что для определения диаметра труб вакуумной сети служат фиксированные решения в таблицах с ориентировочными значениями [7]. Сложность создания расчетных формул заклю-

чается в особенностях транспортирования сточных вод под действием вакуума, а именно транспортировки двухфазной среды «жидкость-газ» в трубопроводах с уклоном к горизонту. Однако в работе [4] предложено математическое описание движения водовоздушной смеси, на основании которого возможно создать алгоритм расчета вакуумной канализации.

Постановка задачи. Задачей данной работы является создание и применение на практике алгоритма расчета вакуумных систем канализации и сравнение результатов с расчетами по данным других исследователей.

Изложение материала и его результаты. Вакуумная система является закрытой системой трубопроводов без возможности проникновения, т. е. отсутствуют смотровые колодцы, а значит, и запахи, поступающие из них в атмосферу. В системе нет ревизионных колодцев и резервуаров для прочистки канализационных труб. Благодаря постоянно поддерживаемому отрицательному давлению в системе не возникают утечки сточных вод. Высокая скорость (от 3,5 до 5 м/с) транспортируемой смеси «жидкость-воздух» в трубах предотвращает образование отложений [7]. Самыми известными производителями вакуумных систем являются фирмы Roediger, Airvac, ISEKI, которые имеют множество филиалов по всему миру [7]. Наиболее известными учеными и инженерами, которые внесли существенный вклад в развитие вакуумного транспортирования сточных вод, являются Й. Лильендаль, М. Роджерс, А. Хассет, И. Купер, Д. Резек, Р. Бец, Т. Асанаги и др., а также вопросу вакуумного транспортирования жидкости посвящены работы [3–6].

Гидропневматический расчет системы должен быть проведен так, чтобы в то время, когда нет притока, обеспечить в системе минимальный уровень вакуума, а время на восстановление вакуума не превышало заданного значения.

При подборе диаметра рекомендуется не увеличивать скорость потока больше

необходимой для работы системы (увеличения трения, потери при ускорении). Увеличение соотношения «жидкость-воздух» в вакуумном клапане может увеличить производительность вакуумной системы. Благодаря увеличению притока воздуха в систему подается больше энергии, что позволит повысить скорость, но это приведет к увеличению потерь на трение. В гидропневматическом расчете необходимо учитывать как статические, так и динамические условия в сети.

Основной процесс, протекающий в системе вакуумной канализации – это движение сточной жидкости в трубе с наклоном к горизонту не более 10° под действием вакуума и расширения воздуха, забираемого из атмосферы с помощью самозадействующих клапанов специальной конструкции [3]. Движение газожидкостной смеси в системе вакуумной канализации начинается от клапана или водо-воздуховпускного устройства (ВВВУ) до первого перепадного колена, в котором движение останавливается до повторного открытия ВВВУ. При этом происходит частичное накопление сточной жидкости в перепадном колене.

При повторном открытии ВВВУ в систему попадает новая порция сточной жидкости и воздуха, движение водовоздушной смеси на участке трубопровода продолжится, при этом накопленный в перепадном колене объем жидкости под действием расширившегося воздуха переходит на следующий отрезок сети. Следовательно, можно сказать, что движение газожидкостной смеси от одного перепадного колена к последующему, вплоть до вакуумной станции, повторяется, а значит, расчет системы можно свести к расчету отрезка сети, ограниченному перепадным коленом и началом следующего перепада.

Основным параметром, определяющим эффективную работу системы и выбор оборудования при вакуумном транспортировании, является величина создаваемого в сети вакуума, который, в свою очередь, зависит от потерь энергии на

участках трубопровода. Это значит, что расчет системы в первую очередь должен быть направлен на учет всех потерь энергии в системе, в результате чего можно определить расчетную величину вакуумметрического давления.

При расчете систем для транспортировки двухфазных смесей очень важно правильно определить плотность смеси, которая, в свою очередь, зависит от газосодержания [8].

Для систем вакуумной канализации значение объемного расходного газосодержания ε и скорости водовоздушной смеси были получены экспериментально с помощью лабораторной установки, которая рассмотрена подробно в работах [3, 4, 6].

Экспериментальное исследование транспортирования жидкости под вакуумметрическим давлением проводилось с использованием трубопроводов диаметром 20 мм и 50 мм при вакуумметрическом давлении 20–40 кПа. Определено, что максимальная скорость водовоздушной смеси v_s достигается при объемном расходном газосодержании $\varepsilon = 0,71–0,74$. При таком значении ε соотношение газ–жидкость $Q_G/Q_L = 0,3–0,4$ [3, 4].

На определение плотности смеси также влияет распределение фаз по длине трубопровода, что, в свою очередь, зависит от структуры движения. Для определения режима движения газожидкостной смеси под действием вакуума на лабораторной установке был проведен ряд экспериментов. В результате испытаний было определено, что режим движения в системе изменяется по длине трубопровода; это, вероятно, связано с особенностью устройства системы вакуумной канализации. Изменение структуры происходит от пузырькового к снаряжному и затем к расслоенному. В перепадном колене также наблюдается пузырьковая структура потока.

На основании вышесказанного, расчет системы необходимо выполнять для каждого участка, на котором происходит изменение структуры движения, отдельно, с учетом гидропневматических параметров,

которые влияют на величину градиента давления именно на этом участке. В дальнейшем предлагается отрезки с разной структурой движения в пределах расчетного участка называть юнитами.

Общие потери давления в системе (ΔP) определяются для каждого юнита отдельно, с учетом гидропневматических параметров, которые влияют на величину градиента давления $\left(\frac{dP}{dx}\right)$ именно на этом участке в зависимости от его длины l [4]:

$$\Delta P = \int_0^l \left(\frac{dP}{dx}\right) \cdot dx = \left(\frac{dP}{dx}\right)_{1-2} \cdot l_{1-2} + \left(\frac{dP}{dx}\right)_{2-3} \cdot l_{2-3} + \left(\frac{dP}{dx}\right)_{3-4} \cdot l_{3-4} + \left(\frac{dP}{dx}\right)_{4-5} \cdot l_{4-5}, \text{ Па.} \quad (1)$$

Для оценки результатов экспериментальных исследований с помощью теории подобия определено соотношение отдельных геометрических и технологических параметров работы реальных и лабораторных вакуумных систем.

В общем виде зависимость потерь давления в системе вакуумного транспортирования можно записать так:

$$\Delta P = f(\rho_s, v_s, d, L, \mu_s), \quad (2)$$

где ΔP — потери давления, Па; ρ_s — плотность водовоздушной смеси, кг/м³; v_s — скорость водовоздушной смеси, м/с; d — диаметр трубопровода, м; L — длина участка трубопровода, где скорость v_s является постоянной величиной, м; μ_s — коэффициент динамической вязкости водовоздушной смеси, Па·с.

Решением системы уравнений, составленной на основе матрицы степени размерностей величин данной зависимости, получен критерий подобия, который полностью включает гидродинамические и геометрические факторы движения водовоздушной смеси:

$$\Pi_1 = \frac{\Delta P \cdot d}{v_s^2 \cdot \rho_s \cdot L}. \quad (3)$$

Критерий подобия Π_1 позволяет использовать результаты экспериментальных исследований и разработать рекомендации по проектированию и расчету систем вакуумной канализации.

Расчет вакуумной системы канализации в связи с особенностями ее работы выполняется для каждого отдельно взятого расчетного участка и сводится к подбору диаметра трубопровода d , общей длины расчетного участка трубопровода $L_{\text{общ}}$, длин юнитов и определению потерь давления ΔP на расчетном участке при заданном расходе жидкости Q_L . На основании полученных зависимостей далее предложен алгоритм расчета участка вакуумной системы канализации с использованием математического редактора MathCAD. Рекомендации для расчетов первого приближения выполнены для оптимального газосодержания $\epsilon = 0,73$, полученного при экспериментальных исследованиях с ВВВУ, и вакуумметрического давления в системе $\Delta P = 40$ кПа при скорости водовоздушной смеси $v_s = 3,5$ м/с.

При заданном расходе сточной жидкости Q_L назначается диаметр вакуумного трубопровода d (табл. 1). Минимальный расход сточных вод $1,5 \text{ дм}^3$ обусловлен объемом придомовой накопительной емкости $30 \dots 50 \text{ дм}^3$ и временем открытия ВВВУ $2 \dots 10$ с.

Таблица 1

Рекомендуемые диаметры труб для вакуумных систем канализации

Q_L , дм ³ /с	d , мм	Q_L , дм ³ /с	d , мм	Q_L , дм ³ /с	d , мм	Q_L , дм ³ /с	d , мм
1,5	63	5	75	8,5	90	30	110
2	63	5,5	75	9	90	35	125
2,5	63	6	75	9,5	90	40	125
3	63	6,5	75	10	90	45	125
3,5	63	7	75	15	90	50	160
4	63	7,5	75	20	110	55	160
4,5	75	8	90	25	110	60	200

Длину расчетного участка $L_{\text{общ}}$ следует рассчитывать в зависимости от выбранного диаметра трубопровода согласно крите-

риальному комплексу Π_1 при сохранении постоянных значений газосодержания, вакуумметрического давления и скорости движения водовоздушной смеси. После получения значений $L_{\text{общ}}$ необходима проверка на критическое заглубление трубопровода по длине при условии прокладки вакуумной сети с минимальным уклоном

Рекомендуемые длины расчетных участков и высоты перепадного колена (длина юнита 1–2 L_1) в зависимости от диаметра трубопровода представлены в таблице 2.

Таблица 2

Рекомендуемые длины юнита 1–2 (высота перепадного колена) и длины расчетного участка

d , мм	L_1 , м	$L_{\text{общ}}$, м	d , мм	L_1 , м	$L_{\text{общ}}$, м
63	0,11	55	160	0,21	105
75	0,12	60	180	0,23	115
90	0,14	70	200	0,25	125
110	0,16	80	225	0,28	140
125	0,18	90	250	0,3	150

Графическое отображение рекомендаций по выбору диаметра и длин расчетных участков вакуумной системы канализации представлено на рисунке 1.

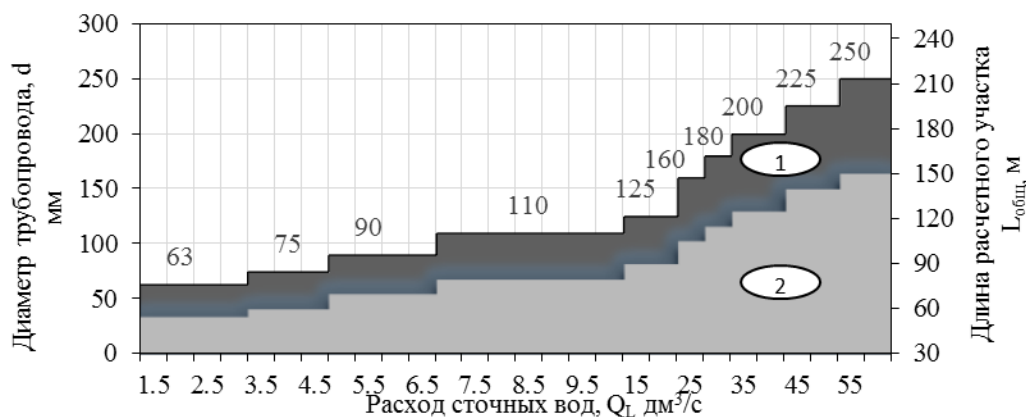
Далее при предварительно назначенном диаметре и рассчитанной общей длине трубопровода необходимо рассчитать длины остальных юнитов (L_2, L_3, L_4). Выполняется данный расчет с учетом критериального комплекса Π_1 , который справедлив на участках с одинаковой скоростью водовоздушной смеси, с использованием эмпирического коэффициента k (для пузырьковой структуры $k_p = 0,055$, для снарядной структуры $k_c = 0,04$).

$$L_{\text{ю}} = \frac{\Delta P \cdot d}{v_s^2 \cdot \rho_s \cdot k} \quad (4)$$

Потери давления ΔP , диаметр d , средняя скорость водовоздушной смеси v_s – изменяемые величины, от которых зависят величины длин L_2 и L_3 .

Длина юнита 4–5 (L_4) рассчитывается как разность длины расчетного участка $L_{\text{общ}}$ и длин юнитов L_1 , L_2 , и L_3 .

При известных длинах юнитов дальнейший расчет сводится к корректировке предварительно выбранных параметров v_s и ε и выполняется в программе Mathcad.



Обозначения: 1 — зона выбора диаметра трубопровода d ;
2 — зона выбора длины расчетного участка $L_{\text{общ}}$.

Рисунок 1 Рекомендации по выбору диаметра трубопровода и длин расчетных участков вакуумной системы канализации в зависимости от расхода сточных вод

Окончательный расчет предполагает определение потерь давления на расчетном участке ΔP с помощью приведенной выше зависимости (1). Алгоритм расчета приведен на рисунке 2.

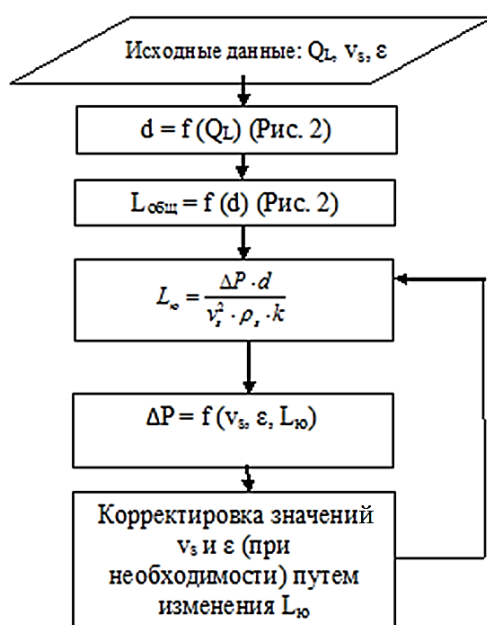


Рисунок 2 Алгоритм расчета вакуумных систем канализации

Данный метод расчета системы вакуумного транспортирования сточной жидкости позволит подобрать диаметр трубопровода, определить расход жидкости и воздуха, вычислить скорость водовоздушной смеси на расчетном участке вакуумной сети, а также определить вакуумметрическое давление, необходимое для транспортирования сточной жидкости, и длины расчетных участков. Для наглядности в таблице 3 приведены потери давления на расчетном участке вакуумной сети, полученные расчетным путем по формуле (1) при заданной скорости движения водовоздушной смеси ($v_s = 3,5$ м/с) и газосодержания ($\varepsilon = 0,83$) для трубопроводов, принятых в экспериментальных исследованиях. В соответствии с таблицей 3, при одинаковых диаметрах трубопровода с увеличением длины расчетного участка потери давления возрастают. Из чего можно сделать вывод, что для соблюдения заданных параметров работы системы вакуумного транспортирования жидкости (скорость водовоздушной смеси, газосодержание и потери давления) при подобранном

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

диаметре трубопровода главными регулирующими факторами является длина расчетного участка.

При использовании теоретических зависимостей, а также экспериментальных параметров системы вакуумной канализации (газосодержание, длины юнитов и общая длина расчетного участка) на реальных объектах проектирования необходимо правильно выбрать местоположение перепадных колен, расстояние между которыми является расчетным участком. На расстояние между перепадными коленами влияют факторы, перечисленные ниже.

Рельеф местности. При плоском рельефе местности и противуклоне вакуумная канализация повторяет контур рельефа и минимальная длина расчетного участка зависит от минимального допустимого уклона и высоты стандартного перепадного колена (табл. 2).

Если трубопровод по всей длине будет постоянно находиться под уклоном к горизонту, то за счет сил гравитации будет постоянно наблюдаться расслоенный режим движения.

Таблица 3

Расчетные потери давления на участках вакуумной системы

Юнит	Структура газожидкостного потока	Длина юнита, м	Потери давления на юните, кПа	Общие потери давления на расчетном участке, ΔP , кПа
$d = 20 \text{ мм}, L_{\text{общ}} = 30 \text{ м}$				
1–2	пузырьковая	0,1	1,056	39,7
2–3	пузырьковая	12,0	36,120	
3–4	снарядная	8,5	2,628	
4–5	расслоенная	9,4	-0,128	
$d = 50 \text{ мм}, L_{\text{общ}} = 30 \text{ м}$				
1–2	пузырьковая	0,1	0,959	26,1
2–3	пузырьковая	12,0	24400	
3–4	снарядная	8,5	0,817	
4–5	расслоенная	9,4	-0,119	
$d = 50 \text{ мм}, L_{\text{общ}} = 75 \text{ м}$				
1–2	пузырьковая	0,1	0,925	50,5
2–3	пузырьковая	29,8	48,570	
3–4	снарядная	21,3	1,290	
4–5	расслоенная	23,6	-0,329	

Несмотря на то, что при расслоенном режиме в вакуумном трубопроводе потери напора будут наименьшими, принимать такой режим для большей части расчетного участка невозможно по причине резкого уменьшения скорости движения жидкости. А при уменьшении скорости движения жидкости пропускная способность трубопровода

также уменьшится, система будет работать по принципу самотечного транспортирования жидкости и выбор минимальных диаметров трубопровода, благодаря которым уменьшается стоимость вакуумной системы, будет не обоснован.

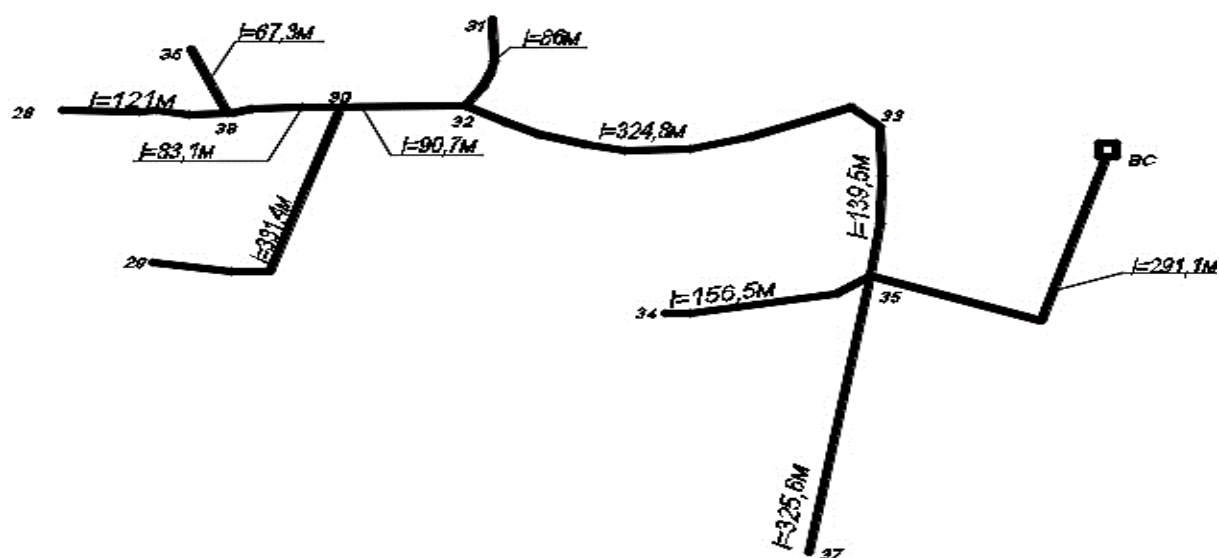
Потери давления на расчетном участке. Максимальная длина расчетного участка диктуется максимально возможным ваку-

умметрическим давлением. Поддержание вакуумметрического давления в сети выше 80 кПа проблематично, а так как вакуумная транспортирующая сеть работает импульсно (порция сточной жидкости при открытии вакуумного клапана преодолевает только один высотный подъем и частично накапливается в перепадном колене) и вакуум в сети восстанавливается в течение нескольких минут после закрытия клапана, для дальнейшей работы системы необходимо периодически восстанавливать величину вакуума до расчетного значения. В это время сточная жидкость находится в колене в состоянии покоя.

Активное перемешивание. Именно в перепадном колене происходит активное перемешивание и измельчение крупных включений. Однако слишком частое

устройство перепадных колен приведет к увеличению потерь давления, т. к. наибольшую величину потерь система имеет при пузырьковом режиме движения, который наблюдается в колене и примыкающем к нему юните. Потому целями проектировщика вакуумной системы должны быть выбор оптимального расстояния между перепадами и правильный подбор диаметров трубопровода, что, в свою очередь, сократит потери давления в сети.

С целью проверки адекватности разработанной математической модели для реальных сетей был выполнен расчет ветви вакуумной канализации общей протяженностью 2017 м. На территории объекта плоский рельеф местности. Схема сети представлена на рисунке 3.



ВС — вакуумная станция; DN — принятый диаметр трубопровода;
 l — длина между точками подключения к вакуумной сети

Рисунок 3 Схема сети вакуумной канализации

При проверке разработанной математической модели на практике газосодержание принимается равным $\varepsilon = 0,73$, длина расчетного участка зависит от диаметра и минимального уклона трубопровода. Длины юнитов с пузырьковой и снарядной структурой зависят от диаметра трубопровода и

рассчитываются согласно критерию подобия Π_1 . Расслоенная структура занимает всю оставшуюся длину расчетного участка. За счет импульсной работы вакуумной системы канализации потери давления не суммируются по участкам, а рассчитываются для каждого участка отдельно.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Расчет среднесуточного расхода сточных вод $Q_{ср}$ произведен по средней норме водоотведения для благоустроенных домов в малых населенных пунктах, равной 140 л/сут.чел. Максимальный секундный расход сточных вод q_{max} определен с учетом вероятности открытия ВВВУ на участке сети, а также с учетом транзита сточных вод с предыдущих участков. Количество одновременно открытых водовоздуховпускных устройств на расчетном участке вакуумной сети зависит от общего их количества и принимается с вероятностью $P = 0,95$.

Расчет по методу зарубежных компаний выполнен из предположения, что потери давления на расчетных участках состав-

ляют около 60 кПа. Целью предложенного расчета является определение конкретной величины потерь давления на каждом расчетном участке сети.

Сравнительные результаты расчета по зарубежному методу и методу на основе полученной математической модели сведены в таблицу 4.

Сравнивая данные, представленные в таблице 4, можно сделать вывод, что предлагаемый метод расчета более полно отражает процессы, протекающие в вакуумной сети. Величина необходимого вакуума на различных расчетных участках вакуумной сети меньше предполагаемой зарубежным методом на 25...35 %.

Таблица 4

Результаты сравнительного расчета участка сети вакуумной канализации

Номер участка	Длина участка с одинаковым диаметром, м	Диаметр, мм	Количество жителей, чел	Потери давления по зарубежной методике, кПа	Результаты расчета по предлагаемой методике	
					Скорость водовоздушной смеси, V_s м/с	Потери давления на участках, кПа
28–38	121	80	40	60	3,1	45,22
36–38	67,3	65	12	60	2,64	38,47
38–30	83,1	110	24	60	3,2	45,22
29–30	331,4	65	32	60	4,01	38,47
30–32	90,7	110	20	60	2,62	45,22
31–32	86	65	19	60	4,01	41,7
32–33	324,8	125	92	60	3,9	41,7
33–35	139,5	125	20	60	3,78	41,7
34–35	156,5	65	32	60	4,01	38,47
37–35	325,6	65	20	60	4,01	38,47
35–BC	291,1	125	4	60	3,41	41,7
Σ	2017		315			

Расчет этого же участка сети вакуумной канализации, представленной на рисунке 3, был также выполнен при условии поддержания вакуумметрического давления на расчетных участках 60 кПа с сохранением неизменными остальных параметров си-

стемы. Согласно критериальному комплексу $П_1$, при увеличении вакуумметрического давления и постоянных значениях длины расчетного участка и скорости водовоздушной смеси диаметр трубопровода уменьшается. Сравнительный подбор диа-

метров трубопроводов для вакуумметрического давления $\Delta P = 60$ кПа представлен в таблице 5.

Таблица 5

Значения диаметров трубопровода при вакуумметрическом давлении $\Delta P = 60$ кПа

Номер участка	Подбор диаметров по зарубежным рекомендациям	Подбор диаметров по предлагаемому методу	Длина участка, м
28–38	80	65	121
36–38	65	65	67,3
38–30	110	90	83,1
29–30	65	65	331,4
30–32	110	90	90,7
31–32	65	65	86
32–33	125	110	324,8
33–35	125	125	139,5
34–35	65	65	156,5
37–35	65	65	325,6
35–BC	125	125	291,1

По данным таблицы 5 видно, что с увеличением вакуумметрического давления на некоторых участках общей длиной 528 м уменьшились диаметры трубопроводов на один сортамент, что показывает

эффективность предлагаемого метода при расчете систем вакуумной канализации.

Выводы и направление дальнейших исследований. В данной статье даны рекомендации по выбору диаметров трубопроводов и длин расчетных участков в зависимости от расхода жидкости при оптимальном режиме работы вакуумной системы транспортирования жидкости. Кроме того, предложен метод расчета с помощью программы Mathcad, позволяющий скорректировать величину потерь давления в системе вакуумной канализации при различных значениях средней скорости водовоздушной смеси и газосодержания. В результате сравнительного расчета определено, что применение предлагаемого метода расчета вакуумного транспортирования сточных вод дает точные значения величины потерь давления на расчетных участках сети, предоставляет возможность отследить результаты регулирования факторов, влияющих на работу системы, а также выбрать наиболее экономичные варианты основных параметров вакуумной системы канализации, повышающей ее эффективность.

Библиографический список

1. Гироль, Н. Н. Необходимый элемент качества жизни. О технологических схемах водоотведения в сельской местности Украины на основе опыта стран Центральной и Восточной Европ [Текст] / Н. Н. Гироль, С. Б. Проценко, А. Н. Гироль, Д. Ковальский, Г. Лагуд и др. // *ВодаMagazine*. — Москва, 2014. — № 11(87). — С. 22–28.
2. Автушко, Е. А. О целевой программе «Чистая вода» на 2011 – 2017 гг. [Текст] / Е. А. Автушко // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. — Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. — № 4(10). — С. 56–59.
3. Григоренко, Н. И. Исследование параметров основных элементов гидроневматической вакуумной системы канализации в лабораторных условиях [Текст] / Н. И. Григоренко // *Вісник ДонНАБА: матеріали X міжнар. наук. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів*. — Макіївка : ДонНАБА, 2011. — № 3(89). — С. 110–112.
4. Нездойминов, В. И. Математическое описание газожидкостной структуры потока в системе транспортирования жидкости под вакуумом [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Н. И. Григоренко, Д. В. Заворотный // *Motrol. Commision of Motorization and Energeticsin Agriculture*. — Lublin, 2013. — Vol. 15, № 6. — P. 125–132.
5. Нездойминов, В. И. Применение вакуумной канализации для малых населенных пунктов в Украине [Текст] / В. И. Нездойминов, Н. И. Григоренко, Д. В. Заворотный // *Науковий вісник будівництва*. — Харків : ХОТВ АБУ, 2010. — Вып. 60. — С. 241–247.

6. Нездойминов, В. И. Модель работы и расчет потерь давления на участке трубопровода системы вакуумной канализации [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Н. И. Григоренко // Научный вестник строительства. — Харьков : ХОТВ АБУ, 2012. — Вып. 70. — С. 312–317.

7. Raclavský Jaroslav. Problematika navrhování venkovních podtlakových systémů stokových sítí [Text] / J. Raclavský. — Brno : VITIUM, 2011. — С.35.

8. Чисхолм, Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках [Текст] / Д. Чисхолм. — М. : Недра, 1986. — С. 204.

© Григоренко Н. И.

© Дрозд Г. Я.

Рекомендована к печати директором Института строительства, архитектуры и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрійчуком Н. Д., к.т.н., доц., и.о. зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 13.12.17.

к.т.н. Григоренко Н. И. (ДонНАБА, м. Макіївка, ДНР), **д.т.н. Дрозд Г. Я.** (ІБА і ЖКГ ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР)

МЕТОД РОЗРАХУНКУ І ОПИС РОБОТИ СИСТЕМИ ВАКУУМНОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ

Розроблено метод розрахунку системи вакуумного транспортування газорідинної суміші в похилих трубопроводах. Встановлено основні чинники, що впливають на ефективність вакуумного транспортування водоповітряної суміші. Наведено рекомендації щодо вибору діаметрів трубопроводів і довжин розрахункових ділянок залежно від витрати рідини при оптимальному режимі роботи вакуумної системи транспортування рідини. Запропоновано метод розрахунку за допомогою програми MathCAD, що дозволяє скоректувати величину витрат тиску в системі вакуумної каналізації при різних значеннях середньої швидкості водоповітряної суміші і газозмісту. Виконано порівняльний розрахунок для ділянки мережі вакуумної каналізації з використанням рекомендованого алгоритму.

Ключові слова: водоповітряна суміш, газозміст, витрати тиску, вакуумна каналізація, ефективність.

Ph.D. Grigorenko N. I. (DonNACEA, Makeyevka, DPR), **Doctor of Technical Sciences. Drozd G. Ya.** (ICE and Housing and Communal Services of V. Dahl LNU, Lugansk, LPR)
CALCULATIVE METHOD AND DESCRIPTION FOR THE VACUUM SANITATION SYSTEM OPERATION

A method has been developed for calculating a system for vacuum transportation of gas-liquid mixture in inclined pipelines. The main factors influencing the efficiency of vacuum transportation of the air-water mixture are determined. Recommendations are given on the choosing the pipeline diameters and the lengths of the calculated sections, depending on the fluid flow rate at the optimum operating mode of the vacuum fluid transportation system. Calculative MathCAD-based method is proposed, which allows changing value of the pressure loss in the vacuum sewerage system for various values of the average rate of the air-water mixture and the gas content. A comparative calculation for the section of the vacuum sewage net is made using the recommended algorithm.

Key words: water-air mixture, gas content, pressure loss, vacuum sewage, efficiency.