

**А. П. Симоненко, канд. техн. наук, А. Ю. Собко,  
Н. В. Быковская, канд. техн. наук доцент, С. Ф. Прохоренко**

**Донецкий национальный университет, г. Донецк**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ И СИСТЕМАХ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЯХ**

*Показана возможность увеличения пропускной способности трубопроводов систем канализации и водоотведения за счет снижения гидродинамического сопротивления трения сточных вод добавками водорастворимых полимерных композиций на основе высокомолекулярных полимеров (эффект Томса). Рассмотрены варианты использования гидродинамически активных композиций в централизованных установках откачки воды и канализационных стоков.*

**Ключевые слова:** канализация, откачивание воды, гидродинамическое сопротивление, эффект Томса, практическое применение

### ***Состояние вопроса***

Наводнения, которые произошли в 2010–2012 гг. на всех континентах нашей планеты, вызвали ряд техногенных катастроф, в результате ликвидации которых стало очевидно, что используемые для этих целей технологии и технические средства еще далеки от совершенства. Кроме этого, в результате аварий из эксплуатации часто выходят энерговырабатывающие предприятия, что ставит задачу выполнения аварийно-восстановительных работ в чрезвычайных условиях. В первую очередь это относится к системам канализации, водоотведения, водоподготовки и т. д., которые будут эксплуатироваться с максимальной нагрузкой, т. е. в так называемом «пиковом режиме».

Важным резервом повышения эффективности работы различных гидравлических систем может быть использование явления снижения гидродинамического сопротивления трения (СГСТ) микродобавками водорастворимых высокомолекулярных полимеров (эффект Томса), к основным из которых следует отнести полиэтиленоксид (ПЭО) и полиакриламид (ПАА).

С использованием заранее приготовленных однородных растворов ПЭО и ПАА в работах [1–8] показана принципиальная возможность применения эффекта Томса для повышения эффективности работы канализационных коллекторов, различных систем водоотведения, энергетические и экологические проблемы которых изложены в публикациях [6–8]. К большому сожалению, как показывает практика, применение заранее приготовленных однородных растворов связано с рядом трудностей, основными из которых являются необходимость использования для приготовления и хранения растворов громоздкого оборудования, а также потеря при этом растворами гидродинамической эффективности в результате их старения и окислительной деструкции полимерных макромолекул.

### ***Цель исследования***

В настоящее время во всем мире интенсивно ведутся работы по созданию высокоэффективных экологически чистых технологий и технических средств для их реализации, которые позволят оперативно брать под контроль чрезвычайные ситуации, ликвидировать источники их возникновения, а также эффективно и в кратчайшие сроки восстановить нормальную работу поврежденных или полностью разрушенных инженерных коммуникаций, и избежать значительного экологического ущерба для окружающей среды, загрязнения атмосферного воздуха, водисточников и близлежащих территорий.

© Симоненко А. П., Собко А. Ю., Быковская Н. В., Прохоренко С. Ф., 2012

К одним из первых публикаций, посвященных практическому применению водорастворимых гидродинамически активных полимерных композиций в энергосбережении и экологии, относятся монографии [9–10], в которых показаны преимущества применения композиций по сравнению с заранее приготовленными полимерными растворами.

### *Цель работы*

Разработка составов, основ технологии приготовления и применения жидких водорастворимых полимерных композиций (ЖВПК) на основе ПЭО и ПАА для увеличения пропускной способности напорных коллекторов систем канализации и водоотведения.

### *Изложение основного материала исследования*

Предварительными испытаниями было установлено, что при необходимости длительного применения явления СГСТ в системах напорных трубопроводов канализации и водоотведения целесообразно использовать ЖВПК (тонкодисперсные суспензии и пасты на основе ПЭО или ПАА) с применением специальных генераторов-дозаторов, обеспечивающих приготовление концентрированных полимерных растворов и их подачу в систему трубопроводов.

ЖВПК представляют собой следующие четыре полимерные композиции: равноплотные тонкодисперсные полимерные суспензии и эмульсии (РТПС и РТПЭ), тонкодисперсные полимерные пасты (ТПП), жидкие композиции с повышенным полимеросодержанием (ЖКПП). Оптимальное содержание ПЭО в РТПС, РТПЭ, ТПП и ЖКПП, соответственно, равно 15,0; 15,0; 25,0 и 55,0 вес. %. Обычно для приготовления всех этих композиций используют тонкодисперсные полимерные порошки с размерами полимерных частиц до 400 мкм и молекулярной массой 2,5–6,0 млн. При этом в РТПС и ТПП используют исходный полимерный порошок промышленного производства, требуемые фракции из которого выделяют рассеиванием.

В настоящей работе приведены составы и основы технологии приготовления и использования ЖВПК на основе ПЭО и ПАА.

Обычно РТПС и ТПП (в дальнейшем суспензии и пасты) готовят путем простого механического смешивания дисперсной фазы (ДФ)-тонкодисперсных полимерных порошков и дисперсионной среды (ДС). С целью исключения попадания воздуха смешивание иногда (для высоковязких паст) проводят под вакуумом.

ДФ является продуктом промышленного производства и поэтому ее влияние на физико-химические свойства суспензий и паст (при равенстве размеров полимерных частиц и молекулярных масс) незначительно. В то же время состав ДС может существенно изменить физико-химические свойства ЖВПК, которые обладают рядом неоспоримых преимуществ перед порошкообразными материалами, т. к. характеризуются повышенной скоростью растворения, легко дозируются, в течение длительного времени (до 5 лет) сохраняют свои физико-химические свойства. Кроме этого ДС, модифицированные различными добавками, определяют седиментационную и агрегативную устойчивость композиций, уменьшают окислительную и механическую деструкции макромолекул полимера в однородных водных растворах при их приготовлении и использовании.

С учетом вышеизложенного, можно определить общие требования к ДС суспензий и паст. Прежде всего, ДС, хорошо растворяясь в воде, не должна растворять полимер. С целью обеспечения седиментационной устойчивости она должна иметь плотность, равную или очень близкую истинной плотности полимерных частиц. Для упрощения процесса дозирования ЖВПК и ее смешивания с водой вязкость ДС должна быть минимальной и слабо зависеть от температуры.

Очевидно, что с учетом многообразия требований к физико-химическим свойствам и особенностям применения ЖВПК в различных технологических процессах создать универ-

сальную ДС не предоставляется возможным. Кроме этого, в каждом конкретном случае использования возникает необходимость наряду с основным назначением – СГСТ, придать ЖВПК другие важные преимущества.

В пожаротушении это может относиться к улучшению огнетушащих свойств воды, при аварийной откачке канализационных стоков – уменьшению выделения вредных и дурнопахнущих газов в атмосферу и т. д.

В таблице 1, в качестве примера, приведены составы ДС для приготовления ЖВПК с использованием тонкодисперсных порошков ПЭО, и их вязкости при температуре  $t, ^\circ\text{C} = 20$  с применением в качестве основных составляющих жидкой фазы глицерина, этиленгликоля, диэтиленгликоля и водных растворов щелочных металлов.

Таблица 1 – Составы ДС для приготовления ЖВПК с применением тонкодисперсных порошков ПЭО

№ п/п	Состав ДС и концентрация составных компонентов (% , мас.)	Вязкость, сПз при $t, ^\circ\text{C} = 20$
1	Глицерин марки «Ч»	717,0
2	Глицерин (87,5) + вода (12,5)	87,3
3	Этиленгликоль	16,5
4	Этиленгликоль (87,2) + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (12,8)	20,7
5	Этиленгликоль (85,6) + LiJ (14,4)	20,9
6	Этиленгликоль (84,6) + ОП-10 (7,7) + $\text{MoS}_2$ (7,7)	18,3
7	Этиленгликоль (60,7) + глицерин (16,65) + мочеви́на (13,4)+LiJ (8,71)	36,4
8	Диэтиленгликоль	–
9	Диэтиленгликоль (91,0) + CdJ (9,0)	–
10	Диэтиленгликоль (89,0) + $\text{MnCl}_2$ (11,0)	–
11	Вода (88,0) + LiOH (12,0)	1,65
12	Вода (80,0) + NaOH (20,0)	1,71
13	Вода (75,0) + KOH (25,0)	1,73

При этом следует отметить, что применение чистых глицерина, этиленгликоля и диэтиленгликоля не позволяет создать стабильные во времени ЖВПК из-за отличия их плотностей от истинной плотности частиц ПЭО.

В то же время, например, смесь 87,5 вес. частей глицерина и 12,5 вес. частей дистиллированной воды имеет вязкость в 8,2 раза меньше вязкости глицерина, а ее плотность становится практически равной средней плотности частиц ПЭО. Это позволяет создать равноплотные ЖВПК для практического применения в различных технологических процессах.

Введение солей тяжелых металлов ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , CdJ,  $\text{MnCl}_2$ ) в ДС на основе этиленгликоля и диэтиленгликоля обусловлено необходимостью доведения ее плотности до плотности частиц ПЭО, а йодистого лития, кроме этого, для уменьшения окислительной деструкции полимерных макромолекул в процессе растворения ЖВПК.

Полимерные суспензии и пасты на основе водных растворов щелочных металлов – LiOH (7–11) вес. %; NaOH (9–28) вес. % или KOH (12–31) вес. %, из всех разработанных ДС, имеют наименьшую вязкость. Это позволяет создать полимерные композиции с содержанием ПЭО до 34,0 вес. %. Кроме этого, такие ЖВПК можно приготовить на месте их применения, что значительно уменьшает затраты на их транспортировку.

В качестве примеров в таблице 2 приведены составы ЖВПК на основе ПЭО (ПК-1) и ПАА (ПК-2), для повышения пропускной способности систем канализации и водоотведения в период «пиковых нагрузок».

Таблица 2 – Составы полимерных композиций

ПК-1	мас. %	ПК-2	мас. %
ПЭО: Молекулярная масса $6,5 \cdot 10^6$ ; размер полимерных частиц – не более 400 мкм	5–25	ПАА: молекулярная масса $6,1 \cdot 10^6$ ; степень гидролиза – 16 %; размер частиц – не более 400 мкм	5–25
Глицерин динамитный	70,5–90,5	Диэтиленгликоль	52,5–72,5
Вода дистиллированная	4,5	Калий йодистый	22,5

Практическое применение ЖВПК связано с использованием специального оборудования, в состав которого входят: дозировочный насос, смеситель, насос подачи воды в смеситель, индукционный расходомер, соединительные шланги высокого давления, запорная арматура и т. д.

Известно, что физико-химические свойства растворов ПЭО и ПАА а, следовательно, и величина эффекта СГСТ, существенно зависят от температуры, водородного показателя среды, загрязнения воды механическими примесями, наличия в ней электролитов и т. д. Поэтому при практическом применении ЖВПК необходимо знать границы их применяемости в канализационных стоках и в воде, откачиваемой водоотливными установками.

### ***Повышение эффективности работы централизованных систем канализации и водоотведения***

В качестве примеров рассмотрим варианты применения ЖВПК в канализационной системе и в установках шахтного водоотлива. Первоначально, в лабораторных условиях были проведены исследования по оценке гидродинамической эффективности ПЭО в шахтной и канализационной водах. Пробы были отобраны из системы водоотлива шахты им. М. И. Калинина ГП «Донецкуголь» и канализационного коллектора г. Донецк. Результаты экспериментов показали (таблица 3), что максимальное СГСТ (равное 75 %), достигается в шахтной и сточной водах при содержании ПЭО с молекулярной массой  $M = 4,8 \cdot 10^6$  (производства НИИ химической технологии, г. Новосибирск, Россия) равной 0,001–0,007 вес. %. Такая же величина эффекта получена при использовании в качестве снижающей турбулентное трение добавки ПАА с молекулярной массой  $M = 4,2 \cdot 10^6$ , синтезированного в опытном производстве НИФХИ им. Л. Я. Карпова (г. Москва).

Таблица 3 – Зависимость величины эффекта СГСТ (Э, %) от концентрации ПЭО, % вес.

	$C_{ПЭО}$ , % вес.	$5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$
Шахтная вода	Э, %	40	47	52	66	71	75	76	75	69
Вода канализационного коллектора	Э, %	38	44	47	62	70	74	75	75	70

\* Данные получены на капиллярном вискозиметре с диаметром капилляра  $d = 1,2$  мм и длиной 0,5 м. Температура исследуемых растворов  $t, ^\circ\text{C} = 22$

Промышленные испытания гидродинамической эффективности полимерных добавок проводились с использованием ЖВПК, содержащей 5 вес. % ПЭО и 95 вес. % смеси глицерина с водой, имеющей плотность, равную  $1,23 \text{ г/см}^3$ . Испытания проводились на участке трубопровода системы водоотлива шахты им. М. И. Калинина общей длиной 710 м. Выбранный участок состоял из труб диаметром 150 и 100 мм, длина которых была равна 230 и 480 метров, соответственно. Перед испытанием, для увеличения скорости растворения, суспензия подвергалась термической обработке при температуре  $t, ^\circ\text{C} = 50$  в течение одного часа.

Для дозированного ввода (по объему) полимерной композиции в трубопровод использовалось специальное устройство, состоящее из герметичной емкости для жидкой полимерной композиции с мерным стеклом, баллона со сжатым воздухом, редуктора, пробкового крана, соединительных шлангов высокого давления.

Расход воды по трубопроводу изменяли при помощи задвижки, установленной в начале контрольного участка, и измеряли водомером. Потери давления на линейных участках и по всей длине трубопровода измеряли при помощи образцовых манометров.

Результаты испытаний показали (данные эксперимента приведены в таблице 4), что через 5 минут, с момента начала подачи полимерной композиции в трубопровод, гидравлические потери на всем испытываемом участке уменьшились на 12 %, а через 15 минут – на 55 % (при равных расходах воды и испытываемого раствора полимерной композиции). Очевидно, что для получения максимального гидродинамического эффекта на трубопроводах большой длины за малые промежутки времени, необходимо вводить ЖВПК одновременно в нескольких местах по длине трубопровода.

Очевидно, что аналогичные результаты можно получить и при использовании гидродинамически активных полимерных композиций в напорных канализационных системах, которые (по сравнению с системами водоотлива шахт) отличаются значительно большей длиной прямолинейных участков трубопроводов и меньшей минерализацией сточных вод. Поэтому следует ожидать, что эффективность применения добавок в этих системах будет выше.

Различные варианты оптимального использования добавок, снижающих гидродинамическое сопротивление трения, приведены в работах [9–11].

Таблица 4 – Зависимость величины эффекта СГСТ ( $\mathcal{E}$ ,%) от времени ввода добавок ( $\tau$ , мин) в трубопровод

$\tau$ , мин	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\mathcal{E}$ , %	12	37	55	57	60	59	58	60	59	60	60	60	60	60	59	60

\* Данные получены на участке трубы с диаметром 100 мм и длиной 200 м. Температура испытываемых жидкостей  $t, ^\circ\text{C} = 28,5$ .

### **Выводы**

Применение гидродинамически активных ЖВПК на основе ПЭО и ПАА открывает широкие перспективы повышения эффективности работы канализационных систем, систем водоотведения и водоотлива без привлечения дополнительных мощностей и изменения их конструкции. При этом для каждого конкретного случая необходимо подобрать наиболее эффективную гидродинамически активную полимерную композицию, которая обеспечит максимальное снижение гидравлических потерь в трубопроводах.

### Список литературы

1. Characteristics of copolymer – polymer, polymer – fibre combinations and grafted polymers as drag reducing agents and their industrial applications / R. P. Singh, P. Chang, G. V. Reddy, etc. // Drag Reduct. 3rd Int. Conf. by Robert H. J. Sellin, R. T. Moses. – Bristol: University of Bristol, 1984. – P. D4/1–D4/5.
2. Liberanore M. W. Shear – induced structure formation in solutions of drag reducing polymers / M. W. Liberanore, E. J. Pollauf, A. J. J. McHugh // Non-Newton, Fluid Mech. – 2003. – Vol. 113. – № 2 – 3. – P.193–208.
3. Корнилов В. И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) / В. И. Корнилов // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – Т. 12. – № 2. – С. 183–208.  
Kornilov V. I. Problemy snizheniya turbulentnogo treniya aktivnymi i passivnymi metodami (obzor) (The problems of turbulent friction reduction using active and passive methods (review) / V. I. Kornilov // Teplofizika i aeromehanika. – 2005. – Т. 12. – № 2. – С. 183–208.
4. Козлов Л. П. Гідродинамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування / Л. П. Козлов // Вісн. АН УРСР, 1987. – № 1. – С. 23–33.  
Kozlov L. P. Gidrodinamichnyi efekt Tomsa i yogo mozhlivi tekhnichni zastosuvannya (Toms hydrodynamical effect and its possible technical applications) / L. P. Kozlov // Visn. AN URSSR, 1987. – № 1. – С. 23–33.
5. Хойт Дж. В. Влияние добавок на сопротивление трения в жидкости / Дж. В. Хойт // Теоретические основы инженерн. расчетов // Труды американского общества инж.-механиков. – М.: Мир, 1972. – № 2. – С. 1–31.  
Khoit Dzh. V. Vliyaniye dobavok na soprotivleniye treniya v zhidkosti (The effect of additives on friction resistance in liquid) / Dzh. V. Khoit // Teoreticheskiye osnovy inzhenern. raschetov // Trudy amerikanskogo obshestva inzh.-mekhanikov. – М.: Mir, 1972. – № 2. – С. 1–31.
6. Алексеев М. И. Показатели экологической безопасности напорных коллекторов, систем водоотведения / М. И. Алексеев, Ю. А. Ильин // Известия ВУЗов, Строительство и архитектура. – 1991. – № 2. – С. 73–77.  
Alekseyev M. I. Pokazateli ekologicheskoy bezopasnosti napornykh kollektorov, system vodootvedeniya (The indicators of ecological safety of pressure headers, water disposal systems) / M. I. Alekseyev, Yu. A. Ilin // Izvestiya VUZov, Stroitelstvo i arkhitektura. – 1991. – № 2. – С. 73–77.
7. Жук В. Проблеми використання гідродинамічноактивних добавок для збільшення пропускної здатності каналізаційних колекторів / В. Жук, В. Орел // IV naukowa konfer. Rzeszowsko-Lwowska, Problemy budownictwa i inzynierii Hrodowiska. – Cz. 11, Pzeszyw. – 1995. – P. 241–246.  
Zhuk V. Problemy vykorystannya gidrodinamichno-aktyvnykh dobavok dlya zbilshennya propusknoi zdatnosti kanalizatsiynykh kolektoriv (The problem of use of hydrodynamically active additives for increase the discharge capacity of sewage headers) / V. Zhuk, V. Orel // IV naukowa konfer. Rzeszowsko-Lwowska, Problemy budownictwa i inzynierii Hrodowiska. – Cz. 11, Pzeszyw. – 1995. – P. 241–246.
8. Жук В. М. Збільшення пропускної здатності каналізаційних колекторів в екстремальних умовах введенням полімерних додатків / В. М. Жук // зб. наук. праць захист довкілля від техногенного впливу. – Кременчук, 1998. № 1(2). – С. 122–126.  
Zhuk V. M. Zbilshennya propusknoi zdatnosti kanalizatsiynykh kolektoriv v ekstrymalnykh umovakh vvedennyam polimernykh dodatktiv (The increase of discharge capacity of sewage headers in extreme conditions by polymer additives introduction) / V. M. Zhuk // zb. nauk. prats zakhyst dovkillya vid tekhnogenного vplyvu. – № 1(2). – Kremenchug, 1998. – С. 122–126.
9. Гидродинамически активные композиции в пожаротушении / А. Б. Ступин, А. П. Симоненко, П. В. Асланов, Н. В. Быковская. – Донецк: ДонГУ, 2001. – 173 с.  
Gidrodinamicheski aktivnyye kompozitsii v pozharotushenii (Gidrodynamically active compositions in fire suppression) / A. B. Stupin, A. P. Simonenko, P. V. Aslanov, N. V. Bykovskaya. – Donetsk: DonGU, 2001. – 173 s.
10. Ступин А. Б. Гидродинамически активные композиции в энергосбережении и экологии / А. Б. Ступин, А. П. Симоненко, П. В. Асланов. – Донецк: ДонГУ, 1999. – 240 с.  
Stupin A. B. Gidrodinamicheski aktivnyye kompozitsii v energosberezhennii i ekologii (Gidrodynamically active compositions in power saving and ecology) / A. B. Stupin, A. P. Simonenko, P. V. Aslanov. – Donetsk: DonGU, 1999. – 240 s.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. П. Висоцький, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 26.11.12

*О. П. Симоненко, О. Ю. Собко, Н. В. Биковська, С. Ф. Прохоренко  
Донецький національний університет, м. Донецьк*

**Застосування гідродинамічно активних полімерних композицій для зменшення гідравлічних втрат у каналізаційних колекторах та системах водовідведення при техногенних аваріях**

Показано можливість збільшення пропускної здатності трубопроводів, систем каналізації й водовідведення за рахунок зниження гідродинамічного опору тертя стічних вод добавками водорозчинних полімерних композицій на основі високомолекулярних полімерів (ефект Томса). Розглянуто варіанти використання гідродинамічно активних композицій у централізованих установках відкачування води й каналізаційних стоків.

КАНАЛІЗАЦІЯ, ВІДКАЧУВАННЯ ВОДИ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР, ЕФЕКТ ТОМСА, ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

*A. P. Simonenko, A. Yu. Sobko, N. V. Bykovskaya, S. F. Prochorenko  
Donetsk National University, Donetsk*

**Use of hydrodynamically Active Polymer Compounds for Decrease of Hydraulic Losses in Sewage Collectors and Water Disposal Systems when Having a Technogenic Accident**

The work is dedicated to the working out of the scientific principles of preparation and use of hydrodynamically active polymer compounds for increase of the system capacity of emergency water pumpage. The possibility of increase of the pipeline capacity, the sewerage and water disposal systems by means of reduction of hydrodynamic resistance of waste water friction by additives of water-soluble polymer compounds on the basis of high-molecular polymers (Toms effect) is shown. The variants of use of hydrodynamically active compounds in the interlocked locations of the water pumping and sewage effluent are considered.

In the thesis the results of the experimental research on substantiation of the composition, on working out of the technological processes of liquid water-soluble polymer compounds preparation, on the analysis of physical and chemical properties and hydrodynamic efficiency of their solutions are given. It is shown, that the use of such polymer compounds makes it possible to prepare solutions in the wide range of polyethylene oxide and polyacrylamide concentration with the conservation of their starting molecular weight over a short period of time.

The industrial tests of the liquid water-soluble polymer compounds are carried out on the mine fireproof pipeline section with its total length of 710 m. It is shown, that the introduction of the liquid water-soluble polymer compounds microadditives has made it possible to reduce hydraulic losses in the pipeline per 60 %. Such reducing of hydrodynamic resistance ensures water flow rate gain in the pipeline by half.

SEWERAGE, WATER PUMPING, HYDRODYNAMIC RESISTANCE, TOMS EFFECT, PRACTICAL USE