УДК 532.517.4:532:13

Симоненко А. П., к.т.н., с.н.с., докторант (Донецкий национальный университет, г. Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК АВАРИЙНОЙ ОТКАЧКИ ВОДЫ ДОБАВКАМИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Наведено результати досліджень послаблення гідравлічних втрат в трубопроводах мобільних установок аварійного відкачування води додавками водорозчинних полімерних композицій на основі високомолекулярного поліетиленоксиду.
Ключові слова: мобільна установка, аварійне відкачування води, послаблення гідродинамічного опору, полімерна композиція, поліетиленоксид.

Приведены результаты исследований по снижению гидравлических потерь в трубопроводах мобильных установок аварийной откачки воды добавками водорастворимых полимерных композиций на основе высокомолекулярного полиэтиленоксида.
Ключевые слова: мобильные установки, аварийная откачка воды, снижение гидродинамического сопротивления, полимерная композиция, полиэтиленоксид.

The results of studies on reducing hydraulic losses in the pipelines of emergency water pumping mobile units with water-soluble polymer compositions` additives based on high-molecular polyethyleneoxide are produced.
Keywords: mobile unit, emergency water pumping, reducing of the hydrodynamic resistance, the polymer composition, polyethyleneoxide.

Затопления территорий промышленных предприятий и жилых массивов при паводках, наводнениях, а также в результате техногенных аварий на магистральных трубопроводах систем канализации и водоотведения являются причиной гибели большого количества людей, наносят значительный материальный ущерб, существенно загрязняют окружающую среду.

Анализ работы оперативных подразделений, задействованных для ликвидации последствий затоплений, показывает, что используемое ими оборудование ещё далеко от совершенства, т.к. за малые промежутки времени при авариях оно не обеспечивает в необходимых количествах отвод воды.

Важным резервом повышения эффективности работы гидравлических

систем может быть использование явления снижения гидродинамического сопротивления трения (СГСТ) микродобавками водорастворимых высокомолекулярных полимеров (эффект Томса) в первую очередь к которым следует отнести полиэтиленоксид (ПЭО) и полиакриламид (ПАА).

В табл. 1 приведены варианты возможного использования явления снижения гидродинамического сопротивления трения при турбулентном режиме течения в трубах водных растворов, которые содержат ($5\cdot10^{-5}$-10^{-2}) вес. % добавок ПЭО и ПАА с молекулярной массой (3,5-6,0) млн.

Таблица 1

Варианты возможного использования явления снижения гидродинамического сопротивления трения микродобавками ПЭО и ПАА

№ п/п	Величина эффекта снижения сопротивления, %	Увеличение длины трубопроводов, кол-во раз	Уменьшение внутреннего диаметра труб,%	Увеличение расхода жидкости, к-во раз	Уменьшение затрачиваемой насосом на перекачку жидк.мощности,%
1.	10	1,11	2	1,05	10
2.	20	1,25	4	1,12	20
3.	30	1,43	7	1,2	30
4.	40	1,43	10	1,29	40
5.	50	2,0	13	1,41	50
6.	60	2,5	17	1,58	60
7.	70	3,33	21	1,82	70
8.	80	5	28	2,24	80

Из приведенных в таблице данных видно, что введение в перекачиваемую жидкость микродобавок водорастворимых высокомолекулярных полимеров с линейной структурой макромолекул, при величине снижения гидродинамического сопротивления трения на (50-80)%, позволяет: либо увеличить расход жидкости по трубопроводу в (1,41-2,24) раза, либо уменьшить затрачиваемую для перекачки жидкости насосами мощность на (50÷80)%, либо увеличить прямолинейные участки трубопровода в (2,0-3,33) раза, либо уменьшить внутренний диаметр используемых труб на (13-28)%.

Проблеме СГСТ добавками ПЭО и ПАА посвящено большое количество работ [1-4]. Однако, большинство из них посвящено использованию заранее приготовленных однородных полимерных растворов. К большому сожалению такой способ применения добавок на практике малоэффективен т.к. связан с использованием громоздкого оборудования. Кроме этого однородные растворы полимеров в процессе хранения теряют свойство уменьшать турбулентное трение воды.

В связи с вышеизложенным, последние десятилетия характеризуются разработкой водорастворимых полимерных композиций, которые, в отличие от выпускаемых промышленностью порошков ПЭО и ПАА, отличаются повы-

шенной скоростью растворения (с сохранением первоначальной молекулярной массы) и сохранением своих физико-химических свойств при длительном хранении.

В Донецком национальном университете в период с 1975 года по настоящее время ведутся систематические исследования по созданию жидких (равноплотные тонкодисперсные суспензии и пасты) и твердых (полимерные покрытия и брикеты) гидродинамически-активных полимерных композиций [5-7] применение которых значительно упрощает реализацию преимуществ эффекта Томса в промышленных масштабах.

Целью настоящей работы является обоснование состава, создание технологических основ приготовления и использования твёрдых водорастворимых полимерных композиций (ТВПК) и флоковых покрытий с водорастворимыми полимерными наполнителями на основе ПЭО и ПАА, а также разработка конструкции и испытание проточного генератора приготовления из них растворов для повышения эффективности работы мобильных установок аварийной откачки воды.

Методика проведения исследований сводилась к следующему. С учетом физико-химических свойств ПЭО и условий применения ТВПК на его основе в лабораторных условиях были исследованы процессы набухания и растворения ПЭО из композиций, а на турбулентном реометре, конструкция и принцип работы которого приведены в работе [5], определена гидродинамическая эффективность полученных из них растворов.

При этом величина эффекта СГСТ ($\Delta\lambda/\lambda$, %) определялась по формуле:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda},\% = \frac{\lambda_B - \lambda_P}{\lambda_B} \cdot 100\%,$$

где λ_B и λ_P – величины коэффициентов гидродинамического сопротивления трения для воды и водного раствора ПЭО или ПАА соответственно.

В процессе выполнения настоящей работы, с целью выбора ТВПК для мобильных установок откачивания воды, были разработаны и испытаны ультраслабые полимерные покрытия, полученные нанесением лакокрасочных материалов (ЛКМ) на твердую поверхность – УПП(ЛКМ), покрытия, получаемые нагревом полимерной суспензии в литьевых формах –УПП(НПС), а также флоковые покрытия с водорастворимыми полимерными наполнителями –ФПП(ВН). Испытания заранее приготовленных однородных растворов из УПП(ЛКМ), УПП(НПС) и ВН для ФПП на турбулентном реометре показали, что все они в диапазоне концентраций ПЭО ($10^{-4}\div10^{-2}$) вес. % обладают СГСТ на (65÷80)%. Однако, УПП(ЛКМ), в связи с длительным во времени процессом высыхания наносимых слоев ЛКМ, для широкого практического применения в составе генераторов приготовления растворов ПЭО оказались не перспективными. В связи с этим дальнейшие исследования проводились с при-

менением УПП(НПС) и ФПП(ВН).

В ходе физико-химических исследований и технологических проработок были разработаны состав и основы технологии приготовления УПП(НСП) в литьевых формах с использованием армирующих вставок различной конфигурации. Для растворения такого покрытия, т.е. получения модифицированных добавками ПЭО или ПАА жидкостей, была создана специальная проточная кассета. Для мобильных гидравлических систем, такие кассеты могут быть установлены в рукавную линию с помощью соединительных пожарных гаек. Аналогичные кассеты могут быть установлены и в трубопроводы аварийной откачки воды. При этом для длинных трубопроводов, из-за частичной деструкции макромолекул ПАА и ПЭО, приводящей к уменьшению их гидродинамической эффективности, может возникнуть необходимость установки последовательно нескольких кассет.

С учетом условий формирования потока жидкости проточная кассета должна состоять из следующих частей: корпуса, армирующей вставки с полимерным покрытием, рассекателей водного потока и соединительных гаек. Корпус кассеты имеет цилиндрическую форму и изготавливается из коррозионно-стойких материалов. Внутренний диаметр кассеты выбирается таким образом, чтобы после размещения в ней армирующей вставки с покрытием и турбулизаторов не возникало дополнительного сопротивления откачиваемой жидкости, подаваемой по рукавной линии. На концах корпуса кассеты и переходников, обеспечивающих её соединение с рукавной линией, нарезается резьба для установки на них соединительных пожарных головок . Это позволяет оперативно устанавливать кассеты в рукавную линию. Вставка, рассекающая водный поток, играет роль турбулизатора, который формирует турбулентное струйное течение. Одновременно, за счет конусности внутренней поверхности, она обеспечивает центровку армирующей вставки при сборке кассеты.

В системах аварийной откачки, с расходом воды до 15 $м^3$/час и диаметром трубопровода до 75 мм, рекомендуется использовать проточные кассеты, которые оснащены армирующими вставками «плоскопараллельные пластины» с общей величиной поверхности массосъема полимера 0,42 $м^2$.

Количество используемых кассет и места их установки определяются протяженностью рукавной линии. При этом необходимо учитывать, что для достижения максимального снижения гидродинамического сопротивления трения целесообразно устанавливать одну кассету с полимерным покрытием на каждые 400-500 метров трубопровода или пожарного рукава.

Испытания работоспособности проточных генераторов приготовления растворов высокомолекулярного ПЭО, в состав которых входят армирующие вставки с УПП(НПС) и ФПП(ВН), а также оценка гидродинамической эффективности их растворов проводились на гидравлическом спецстенде принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

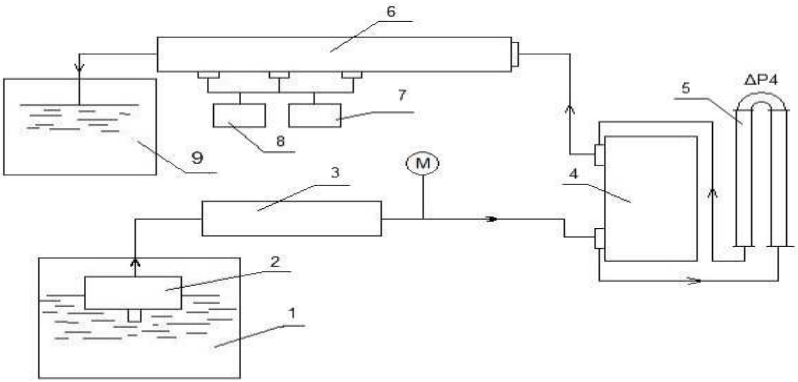

Рис. 1. Принципиальная схема спецстенда для испытания эффективности работы проточных генераторов приготовления полимерных растворов: 1 – емкость для воды; 2 – насос; 3 – индукционный расходомер; 4 – генератор приготовления полимерных растворов; 5 – манометр для определения потерь давления в генераторе; 6 – измерительный канал; 7,8 – дифференциальные манометры для определения потерь давления на контрольных участках измерительного канала; 9 – накопительная емкость для приготовленного с помощью генератора раствора

Принцип работы спецстенда сводится к следующему. Из емкости 1 насосом 2 вода через индукционный расходомер 3 подается в проточный генератор приготовления раствора 4. Полученный в процессе размыва УПП(НПС) или ФПП(ВН) раствор поступает в измерительный канал 6 на контрольных участках которого, с помощью дифференциальных манометров 7 и 8, определяли потери давления.

Потери напора в генераторе измеряли с помощью дифференциального манометра 5. После прохождения измерительного канала раствор, который образовался за счет размыва гидродинамически-активных покрытий, поступал в емкость 7. Потери давления во всем гидравлическом контуре определяли с помощью образцового манометра М.

В качестве примера на рис. 2 представлена зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления трения $\Delta\lambda/\lambda$,% на контрольном участке трубопровода от времени активной работы генератора t, мин. с флоковым покрытием. В качестве наполнителя флокового покрытия использовалась тонкодисперсная 25% равноплотная суспензия ПЭО в дисперсионной среде – смеси глицерина с водой имеющей плотность 1,22 г/см^3.

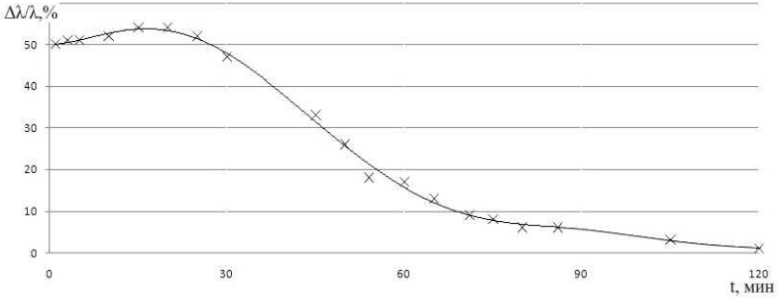

Рис. 2. Зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления трения Δλ/λ,% от времени активной работы генератора с флоковым покрытием t, мин. Полимерный наполнитель флокового покрытия – тонкодисперсная суспензия порошка ПЭО с молекулярной массой $4{,}5\times10^6$ в смеси глицерина с водой плотностью 1,22 г/см^3. Размер полимерных частиц ≤ 63 мкм

Видно, что в течении первых 30 минут намываемый из флокового покрытия раствор ПЭО обладает существенным снижением гидродинамического сопротивления трения (величина Δλ/λ,% в этом промежутке времени равна 46-55%). Начиная с 30 минуты эффективность приготавливаемого раствора постепенно уменьшается и к 60 мин, с начала проведения эксперимента, величина Δλ/λ=17,5%, а на 120 мин становится равной нулю.

Такой способ приготовления полимерных растворов открывает широкие перспективы практического применения полимерных композиций в энергосбережении и экологии, т.к. в качестве водорастворимого наполнителя флоковых покрытий могут быть использованы полимерные суспензии самых различных составов, в т.ч. и суспензии специального назначения.

Преимущества применения флоковых покрытий в составе генераторов приготовления растворов заключается в том, что в качестве водорастворимого полимерного наполнителя в них могут быть использованы не только вновь разработанные суспензии, но и известные суспензии ПАА и ПЭО.

Аналогичные результаты были получены для случаев, когда на армирующие вставки проточной кассеты были нанесены УПП(НПС).

В таблице 2 приведены результаты натурных испытаний зависимости величины эффекта гидродинамического сопротивления трения в рукавной линии длиной 260 м и внутренним диаметром 51 мм от расхода воды через проточные кассеты.

Испытания проводились в два этапа. На первом этапе в рукавную линию была установлена одна кассета (вид армирующей вставки-9 плоскопараллельных пластин с общей площадью поверхности массосъёма полимера S=0,42 м^2), а на втором – в рукавную линию последовательно были установлены две кассеты. При этом площадь поверхности массосъема увеличилась в два раза.

Таблица 2

Зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления Δλ/λ,% от расхода испытуемой жидкости Q, м^3/час в рукавной линии. Водорастворимые покрытия пластин УПП(НПС). Молекулярная масса используемого ПЭО-3,6 млн. Температура перекачиваемой воды – 18°С

Геометрическая форма армирующей вставки, площадь поверхности массосъема, м^2	Количество кассет, шт.	Расход жидкости, Q,м^3/час	Величина эффекта снижения сопротивления,%
Плоскопараллельные пластины, 0,42	1	4,0	48,0
		6,0	50,2
		8,0	56,0
		10,0	62,0
Плоскопараллельные пластины, 0,84	2	4,0	60,0
		6,0	66,0
		8,0	68,0
		10,0	68,0

Из приведенных в таблице данных видно, что в исследуемом диапазоне расхода воды Q, м^3/час по рукавной линии установка двух кассет позволяет увеличить величину эффекта снижения сопротивления трения на (6-12)%.

Выводы. Разработаны составы и основы технологии приготовления УПП(НПС) и ФПП(ВН) для нанесения на армирующие вставки проточного генератора приготовления водных полимерных растворов, которые обладают сниженным на (50-80)% гидродинамическим сопротивлением трения. Использование генераторов с УПП(НПС) и ФПП(ВН) позволяет существенно повысить эффективность работы мобильных установок аварийной откачки воды в период пиковых нагрузок и при чрезвычайных ситуациях за счет реализации одного из преимуществ эффекта Томса: увеличение расхода перекачиваемых жидкостей, уменьшение затрачиваемой насосами мощности, увеличения длины трубопроводов или уменьшения их внутреннего диаметра.

1. Singh R. P. Characteristics of sopolymer – 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. Bristol, 1984. – P. D4/1- D4/5. **2.** Liberanore M. W. Shear – induced structure formation is solutions of drag reducing polymers / M. W. Liberanore, E. J. Pollauf, A. J. J. McHungh //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. **4.** Козлов Л. П. Гідродинамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування / Л. П. Козлов // Вісн. АН УРСР. – 1987. – № 1. – С.23-33. **5.** Ступин А. Б. Гидродинамически-активные композиции в пожаротушении / Ступин А. Б., Симоненко А. П., Асланов П. В., Быковская Н.В. – Донецк : ДонГУ, 2001. – 173 с. **6.** Ступин А. Б. Гидродинамически – активные композиции в энергосбережении и экологии / Ступин А. Б., Симоненко А. П., Асланов П. В. – Донецк: ДонГУ, 1999. – 240 с. **7.** Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности : монография / под общ. ред. д.т.н., проф. Ступина А. Б. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 503 с.

Рецензент: д.т.н., професор Филипчук В. Л. (НУВГП)