

УДК 621.695

А.П. Кононенко (д-р техн. наук, проф.),**М.Ю. Карпушин** (ассистент),**Е.Ю. Кононенко** (магистрант),

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ЗОНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭРЛИФТА С ПОДВОДОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРИТОКА ЖИДКОСТИ (ГИДРОСМЕСИ) В ПРОМЕЖУТОЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ПОДЪЕМНОЙ ТРУБЫ

Обоснованы зоны энергетически целесообразного использования эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы, позволяющие определить параметры такого газо-жидкостного подъемника, обеспечивающие превышение максимальной подачи над аналогичным показателем эрлифта традиционной конструкции, при прочих равных условиях.

Ключевые слова: эрлифт, переменный приток жидкости (гидросмеси), подача, базовый приток, дополнительный приток, промежуточное сечение подъемной трубы.

1. Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При работе эрлифтных установок на переменные притоки жидкости (гидросмеси), что имеет место во многих промышленных системах (гидрозолошлакоудаление ТЭС, водоотлив угольных шахт и др.) надежность и энергетическая эффективность их транспортирования определяется способом изменения подачи эрлифта.

Основным требованием предъявляемым к принимаемому способу изменения подачи эрлифта является обеспечение соответствия диапазона подач установки возможному диапазону притоков жидкости (гидросмеси), что при невыполнении приводит к затоплению промышленного объекта. При этом также необходимо стремиться к минимизации энергетических затрат на процесс транспортирования притоков.

Невозможность достаточного резервирования глубины зумпфа определяет целесообразность использования способа изменения подачи эрлифта за счет регулирования расхода сжатого воздуха подвального в смеситель, что позволяет поддерживать постоянный уро-

вень жидкости в зумпфе. При этом уменьшение давления в смесителе, вызванное увеличением потерь напора потока жидкости (гидросмеси) в подающей трубе при увеличении подачи эрлифта, приводит к снижению интенсивности роста подачи при увеличении расхода сжатого воздуха.

Поддержание постоянства давления в смесителе позволяет повысить энергетическую эффективность рабочего процесса эрлифта в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси) при изменении подачи подъемника регулированием расхода сжатого воздуха. При этом поддержание постоянства давления в смесителе на уровне, обеспечивающем базовый приток в подающей трубе, для создания необходимой транспортной скорости потока в ней, осуществляется за счет подвода дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы.

Поэтому обоснование зон энергетически целесообразного использования эрлифта с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы является актуальной научно-практической задачей.

2. Анализ исследований и публикаций. Анализ влияния параметров эрлифта традиционной конструкции на показатели энергоэффективности его рабочего процесса приведен в [1-4]. Сравнительный анализ параметров рабочего процесса эрлифта с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы и эрлифта традиционной конструкции, характеризующих его энергетическую эффективность (в частности подача при прочих равных условиях), приведен в [5]. При этом данный анализ проведен для конкретных конструктивных параметров эрлифтной установки и исследовано влияние на рабочий процесс только координаты подвода дополнительного притока жидкости (гидросмеси) z_j .

Установление влияния параметров эрлифтной установки на обеспечение превышения подачи эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы над подачей эрлифта традиционной конструкции, при прочих равных условиях, позволит обосновать зоны энергетически целесообразного использования такого эрлифта.

3. Постановка задачи. Обосновать зоны энергетически целесообразного использования эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы.

4. Изложение материала и результаты. Решение задачи обоснования зон целесообразного использования эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы в общем виде из-за сложности рассматриваемых процессов в настоящее время не представляется возможным. Поэтому для данных условий целесообразно использовать численный метод анализа работы эрлифтных установок.

Для анализа влияния параметров эрлифтной установки на энергетическую целесообразность использования схемы с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы в сравнении с традиционной схемой (обеспечение превышения максимальной подачи при прочих равных условиях) был принят диапазон безразмерного параметра $(H + h) / D = 50 \div 270$ (отношение длины подъемной трубы к ее диаметру), охватывающий как короткие, так и длинные эрлифты [1], диапазон безразмерного диаметра подающих труб $\bar{d} = d / D = 0,35 \div 1$, что обосновывается опытом применения эрлифтов [2]. Расход жидкости в подающей трубе Q_{np1} принимался таким, чтобы при определенном d в ней обеспечивалась транспортная скорость потока 3 м/с, что соответствует необходимой скорости для водоотливных установок [2].

Принятый для анализа работы эрлифта диапазон относительных погружений смесителя $\alpha = 0,4 \div 0,8$ обосновывается тем, что, как доказано в [6], наиболее энергоэффективная снарядная структура водовоздушной смеси имеет место в подъемной трубе при значениях $\alpha \geq 0,40$, а в соответствии с [7] энергорациональные диапазоны работы эрлифтов с параметрами, аналогичными принятым к рассмотрению в данном случае, ограничиваются значениями $\alpha \leq 0,80 \div 0,85$.

Численный анализ работы газожидкостного подъемника выполнен с использованием математической модели рабочего процесса эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы со снарядной структурой водовоздушной смеси, в основу которой положены уравнения неразрывности движения и количества движения двухфазного потока, позволившие получить уравнение стационарного восходящего вертикального движения двухкомпонентного водовоздушного снарядного течения в подъемной трубе [8]:

$$-\frac{dp(z)}{dz} = \frac{4\tau_w(z)}{D} + \frac{d}{dz} \left\{ G'(z) \left[\left(\frac{x \cdot (1 - \varphi(z))}{\varphi(z) \cdot (1 - x)} \right) \cdot w_0''(z) + w_0'(z) \right] \right\} + \rho_{см}(z) \cdot g, \quad (1)$$

где p - давление газожидкостной смеси в подъемной трубе; z - расстояние от смесителя до рассматриваемого сечения подъемной трубы; $\tau_w(z)$ - касательное напряжение на стенке подъемной трубы; $G'(z)$ - массовая скорость жидкости; $\rho_{см}(z)$ - плотность газожидкостной смеси; D - диаметр подъемной трубы; $w_0'(z)$ и $w_0''(z)$ - приведенные скорости жидкой и газообразной фаз соответственно; x - массовое расходное газосодержание газожидкостной смеси; $\varphi(z)$ - истинное газосодержание; g - ускорение свободного падения.

Массовые скорости газообразной и жидкостной фаз [9]

$$G''(z) = \frac{Q_в(z) \cdot \rho_0''}{\omega \cdot \varphi(z)} = \frac{G(z) \cdot x}{\varphi(z)}, \quad (2)$$

$$G'(z) = \frac{Q_ж(z) \cdot \rho'}{\omega \cdot [1 - \varphi(z)]} = \frac{G(z) \cdot (1 - x)}{1 - \varphi(z)}, \quad (3)$$

где ρ_0'' - плотность воздуха при нормальных (технических) условиях; $Q_в(z)$ - объемный расход воздуха в подъемной трубе эрлифта; $Q_ж(z)$ - расход жидкости в z -м сечении подъемной трубы; ω - площадь сечения подъемной трубы; $G(z)$ - массовая скорость водовоздушной смеси.

Расход жидкости (гидросмеси) по высоте подъемной трубы [8]

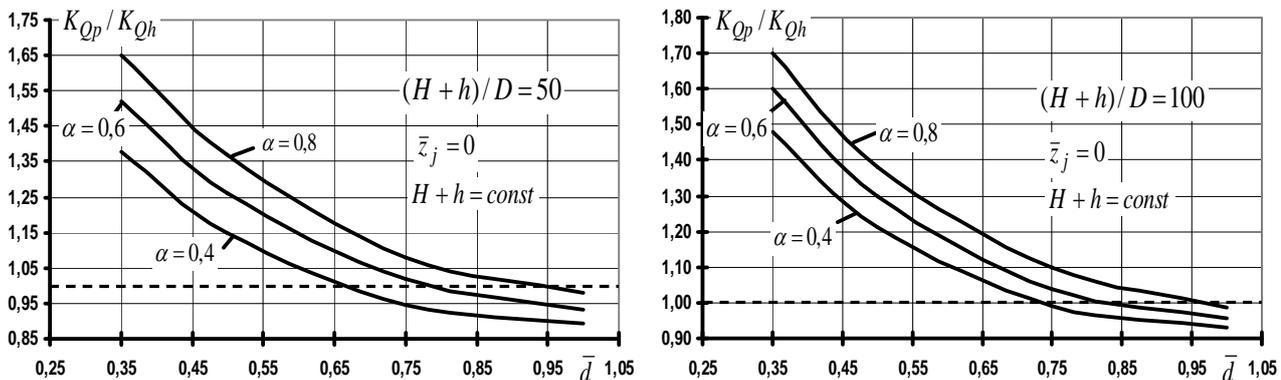
$$Q_ж(z) = \begin{cases} Q_{np1}, & \text{при } 0 \leq z \leq z_j; \\ Q_{np1} + Q_{np2}, & \text{при } z_j < z \leq H + h. \end{cases} \quad (4)$$

Расход воздуха при нормальных (технических) условиях [8]

$$Q_в^0(z) = \begin{cases} Q_{в1}, & \text{при } 0 \leq z \leq z_j; \\ Q_{в1} + Q_{в2}, & \text{при } z_j < z \leq H + h. \end{cases}$$

Анализ данных полученных в результате численного моделирования показал, что максимальная подача эрлифта при подводе дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы больше максимальной подачи эрлифта традиционной конструкции

при определенных значениях их конструктивных параметров. Так, для эрлифта с безразмерным параметром $(H + h)/D = 50$ целесообразность подвода дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы с координатой $\bar{z}_j = 0$ (базисное значение $z_j = 20$ м) обеспечивается: для $\alpha = 0,4$ при безразмерном диаметре подающей трубы $\bar{d} < 0,65$, а максимальное отношение степеней увеличения подач (отношение максимальных подач подъемника с подводом дополнительного притока и традиционного эрлифта) составило $K_{Qp}/K_{Qh} = 1,37$ при $\bar{d} = 0,35$; для $\alpha = 0,6$ при безразмерном диаметре подающей трубы $\bar{d} < 0,78$, максимальное отношение $K_{Qp}/K_{Qh} = 1,52$ при $\bar{d} = 0,35$; для $\alpha = 0,8$ при $\bar{d} < 0,95$, максимальное отношение $K_{Qp}/K_{Qh} = 1,65$ при $\bar{d} = 0,35$ (рис. 1, а).



а)

б)

Рис. 1 - Зависимости $K_{Qp}/K_{Qh} = f(\bar{d})$ при $\bar{z}_j = 0$, $\alpha = 0,4 \div 0,8$, $H + h = 20$ м:

а) - для $(H + h)/D = 50$; б) - для $(H + h)/D = 100$ (базисное значение $z_j = 20$ м)

Аналогичный анализ проведен и для других значений безразмерного параметра $(H + h)/D = 100, 150, 200, 270$. Установлено, что с ростом $(H + h)/D$ целесообразность использования эрлифта с подводом дополнительного притока достигается при больших \bar{d} (рис. 1, 2, 3 а), и отношения степеней увеличения подач K_{Qp}/K_{Qh} возрастают при $(H + h)/D = 270$ до значения: для $\alpha = 0,4$ – 1,65; для $\alpha = 0,6$ – 1,75; для $\alpha = 0,8$ – 2,0 (рис. 3 а).

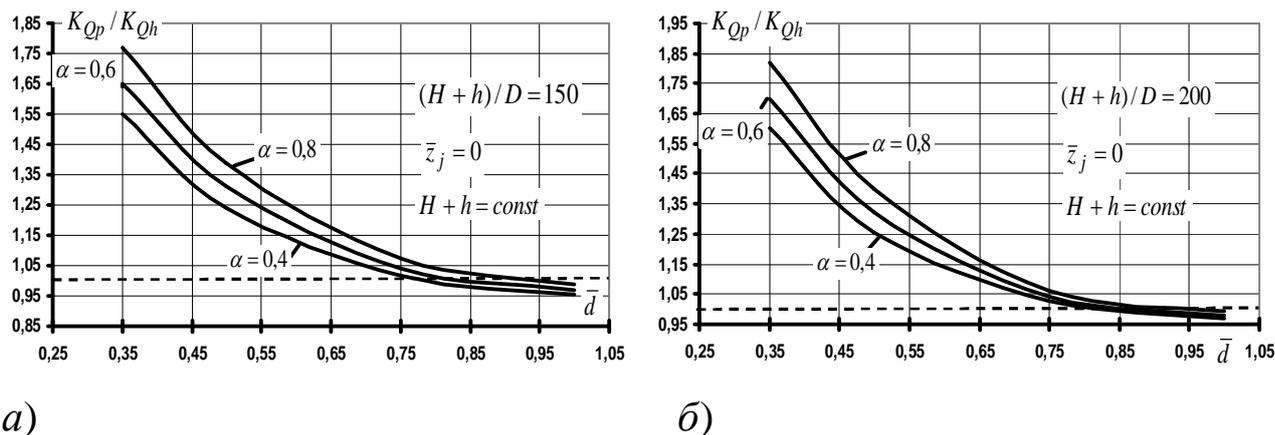


Рис. 2 - Зависимости $K_{Qp} / K_{Qh} = f(\bar{d})$ при $\bar{z}_j = 0$, $\alpha = 0,4 \div 0,8$, $H + h = 20$ м:
 а) - при $(H + h) / D = 150$; б) - при $(H + h) / D = 200$
 (базисное значение $z_j = 20$ м)

Подвод дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в более высокие сечения подъемной трубы приводит к снижению максимальной подачи и при безразмерных координатах подвода дополнительного притока $\bar{z}_j > 0,5$ энергетической целесообразности использования эрлифта с подводом дополнительного притока нет (рис. 3 б).

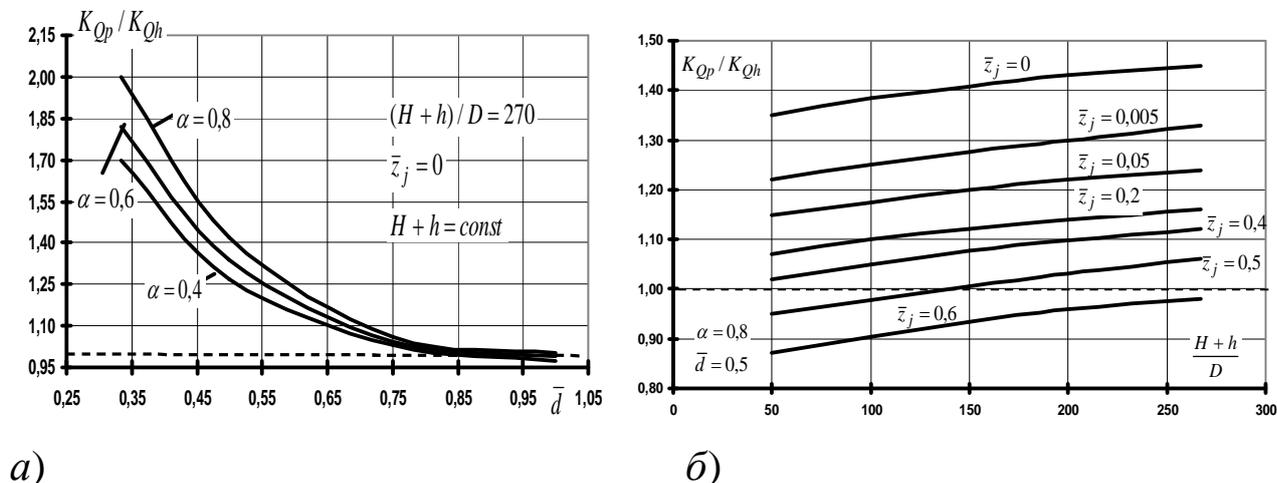


Рис. 3 - Зависимости K_{Qp} / K_{Qh} от: а) - \bar{d} при $(H + h) / D = 270$, $H + h = 20$ м, $\bar{z}_j = 0$, $\alpha = 0,4 \div 0,8$; б) - $(H + h) / D$, при $H + h = 20$ м, $\alpha = 0,8$, $\bar{d} = 0,5$, $\bar{z}_j = 0; 0,005; 0,05; 0,2; 0,4; 0,5; 0,6$ (базисное значение $z_j = 20$ м)

Анализ и обобщение полученных результатов позволили построить зоны энергетически целесообразного использования эрлифта

тов с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубных (рис. 4).

5. Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные зоны энергетически целесообразного использования эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы позволяют определить параметры такого эрлифта, обеспечивающие превышение максимальной подачи над аналогичным показателем эрлифта традиционной конструкции, при прочих равных условиях. При этом требует уточнения способ подвода дополнительного притока.

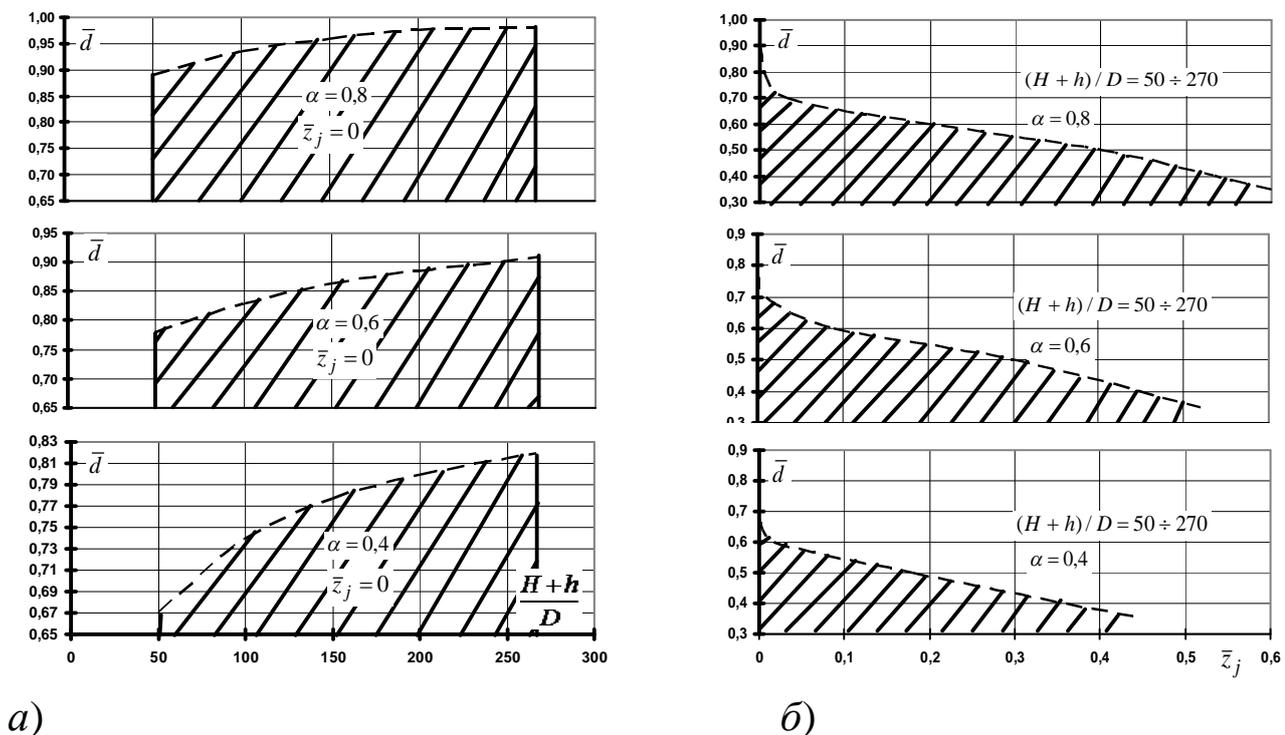


Рис. 4 - Зоны энергетически целесообразного использования эрлифтов с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы: а) - при $\bar{z}_j = 0$, $\alpha = 0,4; 0,6; 0,8$;
б) - при $(H + h) / D = 50 \div 270$, $\alpha = 0,4; 0,6; 0,8$

Список литературы

1. Эрлифтные установки: Учебное пособие / [В.Г. Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, Я.К. Антонов]. – Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.
2. Энциклопедия эрлифтов / [Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко]. - М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с.
3. Кононенко А.П. Ограничения в подаче эрлифта / А.П. Кононенко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Збірник наукових праць: "Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва". – 2005. – Випуск 2005-7(55). – С. 71-81.

4. Кононенко А.П. Экспериментальное обоснование энергетической целесообразности подвода дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы эрлифта. / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-електромеханічна. – 2010. – Випуск 20 (176). – С. 51-60.
5. Кононенко А.П. Характеристики эрлифта с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технологія машинобудування. – 2010. – 54. – С. 62 - 70.
6. Кононенко А.П. Структуры двухфазных потоков в подъемных трубах эрлифтов / А.П. Кононенко // Вісник Сумського державного університету. Серія - Технічні науки. – 2005. – №12(84). – С. 38-48.
7. Кононенко А.П. Теория и рабочий процесс эрлифтов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.05.17 / Кононенко А.П. - Донецк: ДНТУ, 2007. – 565 с.
8. Кононенко А.П. Модель рабочего процесса эрлифта в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси) / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Наукові праці Донецького національного технічного університету: серія гірничо-електромеханічна. – 2008. – Випуск 16(142). – С. 149-158.
9. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. / Г. Уоллис. – М.: Мир, 1972. – 440 с.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2013

А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин, К.Ю. Кононенко. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Зони енергетично доцільного використання ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби

Обґрунтовані зони енергетично доцільного використання ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби, що дозволяють визначити параметри такого газорідного підйомника, які забезпечують перевищення максимальної подачі над аналогічним показником ерліфта традиційної конструкції, за інших рівних умов.

Ключові слова: ерліфт, змінний приплив рідини (гідросуміші), подача, базовий приплив, додатковий приплив, проміжний перетин підйомної труби.

A. Kononenko, M. Karpushin, K. Kononenko. Donetsk National Technical University

Supply of Airlift with Pneumatic Energy Sources

The paper considers the zones of energetically rational use of airlifts with the supply of the additional flow of liquid (slurry) in the intermediate section of the lift tube, allowing defining the parameters of such gas-liquid lifts, which provide the exceeding of the maximum feed.

Keywords: airlift, variable fluid fluxes (hydro-myxtures), feed, base fluid influx, additional fluid influx, intermediate section of the lift tube.