ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования и серии численных экспериментов были получены следующие результаты:

1. Был создан комплекс программ на языке MATLAB, которые реализуют численный анализ частотных характеристик гидравлического канала связи в зависимости от параметров бурения и моделирование прохождения заданного исходного сигнала через скважину с последующим его восстановлением из выходного сигнала согласно передаточным функциям (21). Также в программном комплексе имитируются шумы в выходном сигнале и исследуется качество восстановления исходного сигнала при различных отношениях шум/сигнал. Для осуществления количественного анализа ошибки восстановления строятся зависимости относительной среднеквадратичной ошибки от уровня шума в выходном сигнале. Разработанный комплекс программ находится в открытом доступе по ссылке: <https://github.com/OlegusWild/mathematical_model_of_hydraulic_channel.git>.
2. Была проведена серия вычислительных экспериментов, демонстрирующих зависимость амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик передаточной функции гидравлического канала связи от параметров бурения – от глубины скважины и от плотности бурового раствора.
3. Для трёх модельных сигналов была проведена симуляция прохождения через скважину и проведено последующее восстановление из зашумлённого выходного сигнала. Также были предприняты попытки улучшить качество восстановления исходного сигнала при помощи полосового фильтра.
4. Было проведено количественное исследование величины относительной среднеквадратичной ошибки восстановления исходного сигнала в зависимости от отношения шум/сигнал. Данное исследование проводилось как в случае восстановления без предварительной фильтрации, так и в случае использования полосового фильтра.

На основе полученных в настоящей работе результатов можно сделать следующие выводы:

1. Изучение частотных характеристик передаточных функций гидравлического канала связи (21) в зависимости от параметров бурения показало, что для обоих видов передачи сигнала от ПГИ на поверхность (по давлению и по расходу) амплитуда выходного сигнала падает с ростом глубины скважины и ростом плотности бурового раствора, следовательно, затрудняется регистрация сигнала. Также была обнаружена существенная зависимость АЧХ передаточной функции по давлению от частоты передаваемого сигнала: качественная передача сигнала оказывается возможна только на низких частотах. Однако для передаточной функции по расходу такой зависимости обнаружено не было, что создаёт потенциальную возможность передачи сигнала на более высоких частотах. Это бы позволило увеличить скорость передачи информации и избежать низкочастотных помех, вызываемых работой бурового оборудования. В последнее время метод передачи сигнала по расходу совершенствуется и рассматривается как более перспективный по сравнению с передачей сигнала по давлению [2].
2. В рамках описанной в работе модели гидравлического канала связи возможно проводить восстановление сигналов различной формы при наличии в выходном сигнале случайных шумов. Без использования дополнительной фильтрации среднеквадратичная ошибка восстановления исходного сигнала оказывается значительной даже при малых уровнях шума в выходном сигнале – ошибка достигает 100% при уровне шума 4-5% от амплитуды выходного сигнала для исходных сигналов гармонической формы и при уровне шума около 0.5% от амплитуды выходного сигнала в случае прямоугольных импульсов.
3. За счёт использования полосовых фильтров возможно улучшить качество восстановления исходного сигнала на порядок для гармонических сигналов и практически на два порядка для прямоугольных импульсов. Важно отметить, что при фильтрации выходных сигналов качество восстановления оказывается сопоставимым для всех исследованных сигналов. Также важно отметить, что использование полосового фильтра даёт улучшение качества восстановления сигнала, начиная с некоторого отношения шум/сигнал: для гармонических сигналов свыше 0.75%, а для прямоугольных импульсов уже при десятых долях процента.